2 PRAKTIČAR

SMJOJARSTVO 1

Neispravne stranice tj. stranice sa kojih je skenirana slika nije cjelovita su:
4
30
312
328
412
472
704
718
1023
@ArchiveTarchive at archive.org

1 OPĆI DIO

2 STROJARSTVO 1

3 STROJARSTVO 2

4 SLABA STRUJA

5 JAKA STRUJA

6 TEKSTIL

Tisak: Grafički zavod Hrvatske, Zagreb, Frankopanska 26

SURADNICI

BEARA Ljubomir, inženjer strojarstva,
predavač Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb

BODROŽIĆ Ivica, dipl. inženjer strojarstva,
suradnik Instituta alatnih strojeva, Zagreb

DEFTERDAROVIĆ Nafis, dipl. inženjer kemije,
asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb

DOMAINKO Dragutin, dipl. inženjer tehnolog,
redovni profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje

ESIH Ivan, dipl. inženjer kemije,
docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb

GORNIK Boris, dipl. inženjer strojarstva,
šef odjela za proizvodne procese Instituta alatnih strojeva, Zagreb

GRIM Miroslav, dipl. inženjer strojarstva,
upravnik ljevaonice tvornice alatnih strojeva Prvomajska, Zagreb

GRIMS Predrag, dipl. liječnik,
šef odjela Opće bolnice Varaždin

HRIBAR Dr. Josip, dipl. inženjer strojarstva,
redovni profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb

JURDANA Nedeljko, dipl. inženjer strojarstva,
suradnik Instituta alatnih strojeva, Zagreb

MILANEZ Maks, dipl. inženjer strojarstva,
šef odjela za standardizaciju tvornice Jedinstvo, Zagreb

MULC Andrija, dipl. inženjer strojarstva,
asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb

NEDELJKOVIĆ Antun, dipl. inženjer strojarstva,
profesor Školskog centra za strojarstvo i elektrotehniku, Zagreb

POVRZANOVIĆ Aleksander, dipl. inženjer strojarstva,
predavač Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb

RADOŠEVIĆ Dušan, dipl. inženjer strojarstva,
izvanredni profesor Visoke privredne škole, Zagreb

REBEC Bruno, dipl. inženjer strojarstva,
docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb

ŠAVAR Mr *Šime,* dipl. inženjer strojarstva,
predavač Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb

ULOVEC Oto, dipl. inženjer kemije,
šef proizvodnje tvrdih metala tvornice Sintal, Zagreb

UNTERWEGER Žarko, dipl. inženjer elektrotehnike,
suradnik Centra za proizvodnost, Zagreb

VELEBIR Krešimir, dipl. inženjer strojarstva,
šef odjela za mjerenje Instituta alatnih strojeva, Zagreb

VOJTA Dragiša, dipl. inženjer strojarstva,
službenik Instituta tvornice Parnih kotlova, Zagreb

VUKELIĆ Nikola, dipl. inženjer strojarstva,
asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb

ŽGANEC Željko, dipl. inženjer strojarstva,
šef odjela za konstrukciju Instituta alatnih strojeva, Zagreb

SADRŽAJ

1 MATERIJALI 1

11 METALI 9

11.1 Metalografija 9
11.11 Suština građe metala 9
11.111 Uvod 9
11.112 Dimenzije atoma 9
11.113 Da li atomi miruju kao cjeline 10
11.114 Kristali 10
11.115 Oblici kristalnih rešetki 10
11.116 Rešetke kod slitina 16
11.117 Utjecaj tipa rešetke na svojstva slitine 17
11.12 Skrućivanje metala 17
11.13 Promjene nakon skrućivanja 19
11.14 Nepravilnosti kristalnih rešetki 20
11.141 Praznine 20
11.142 Mozaička struktura 21
11.143 Rubne nepravilnosti 21
11.15 Ravnoteža pri skrućivanju metala 21
11.16 Opći dijagrami slijevanja 22
11.161 Skrućivanje s difuzijom 23
11.162 Skrućivanje bez difuzije 24
11.163 Eutektične slitine 25
11.164 Utjecaj veličine kristala na svojstva slitine 26
11.165 Rastvorljivost ispod eutektične temperature 27
11.166 Rekapitulacija 27
11.17 Peritektična prekristalizacija 27
11.18 Ostali sistemi slijevanja 28
11.19 Značenje metalografije za razvoj nauke o metalima 29

11.2 Neka svojstva metala 29
11.21 Mehanička svojstva 29
11.211 Čvrstoća metala 29
11.212 Otpornost metala 43
11.213 Žilavost metala 50
11.214 Elastičnost 51
11.215 Puzavost 53
11.216 Klonulost 56
11.217 Tvrdoća 57
11.22 Obradivost rezanjem 58
11.23 Fizikalna svojstva 58
11.231 Periodički sistem elemenata 58
11.232 Magnetska svojstva 60
11.233 Toplinska svojstva 61

11.3 Željezo i čelik 62
11.31 Sistem slijevanja Fe—C 62
11.311 Primarna kristalizacija 62

11.312 Sekundarna kristalizacija . . . 66
11.313 Praktični nazivi pojedinih faza . . . 71
11.314 Količinsko određivanje faza . . . 72
11.315 Usmjeravanje kristalizacije . . . 73
11.32 Sirove i lijevane slitine željeza . . . 74
11.321 Postanak tehničkog željeza — čelika . . . 74
11.322 Podjela Fe-slitina prema Fe — C-dijagramu . . . 75
11.323 Osnovna svojstva glavnih željeznih slitina . . . 75
11.33 Utjecaj neželjeznih elemenata . . . 79
11.331 Utjecaj ugljika na mehanička svojstva čelika . . . 79
11.332 Utjecaj primjesa . . . 82
11.333 Utjecaj legiranih dodataka (općenito) . . . 84
11.334 Utjecaj metalnih dodataka . . . 86
11.335 Postizavanje određenih svojstava legiranjem . . . 89
11.34 Prerada čelika . . . 91
11.341 Gnječenje . . . 91
11.342 Napetosti i njihove posljedice . . . 95
11.35 Toplinska obrada čelika . . . 97
11.351 Utjecaj vremena na pretvorbu strukture . . . 97
11.352 TTT-dijagram . . . 98
11.353 Vrste toplinske obrade . . . 103
11.354 Kemijsko-toplinska obrada . . . 109
11.36 Specijalni čelici . . . 112
11.361 Magnetski čelici . . . 112
11.362 Bolje kvalitete konstruktivnih čelika . . . 114
11.363 Čelici za niske temperature . . . 115
11.364 Čelici za kemijsku industriju . . . 116
11.365 Visokolegirani čelici . . . 116
11.37 Metalografski prikaz nekih vrsta čelika . . . 120

11.4 Neželjezni metali (obojeni metali) . . . 122

11.41 Bakar . . . 123
11.411 Tehnički čisti bakar . . . 123
11.412 Standardne čistoće tehničkog bakra . . . 123
11.413 Tekstura bakra . . . 124
11.42 Bakrene slitine . . . 125
11.421 Bakrene slitine bez cinka (bronce) . . . 125
11.422 Bakrene slitine s cinkom . . . 131
11.43 Laki metali . . . 140
11.431 Aluminij (Al) . . . 141
11.432 Magnezij (Mg) i njegove slitine . . . 145
11.433 Titan i njegove slitine . . . 146
11.44 Metali niskog tališta . . . 147
11.441 Cink i njegove slitine . . . 148
11.442 Olovo i olovne slitine . . . 149
11.443 Kadmij i njegove slitine (Cd) . . . 150
11.444 Kositar (Sn) i njegove slitine . . . 150
11.445 Meki lemovi . . . 151
11.45 Ležajne (antifrikcijske) slitine . . . 152
11.451 Kositrena kovina . . . 152
11.452 Olovnate bijele kovine . . . 153
11.453 Kadmijeve slitine . . . 153
11.454 Aluminijske ležajne kovine . . . 153
11.455 Bakrene slitine i sivi liv . . . 154
11.456 Cinkove slitine . . . 154
11.457 Olovna bronca . . . 155
11.46 Rijetki metali . . . 155

11.461 Litij (Li) . . . 155
11.462 Berilij (Be) . . . 155
11.463 Cer (Ce) . . . 156
11.464 Cirkon (Zr) . . . 156
11.465 Germanij (Ge) . . . 156
11.466 Vanadij (V) . . . 156
11.467 Molibden (Mo) . . . 157
11.468 Volfram (W) . . . 157
11.469 Niob (Nb) . . . 157

11.5 Standardizacija i tablice . . . 158

11.51 Standardizacija metala . . . 158
11.511 Suština . . . 158
11.512 Karakteristike standarda materijala . . . 158
11.513 Kriteriji izbora . . . 158
11.514 Primjer tipizacije alatnih čelika . . . 159
11.515 Pregled JUS standarda o metalima . . . 161
11.516 Tipizirane kvalitete . . . 169
11.52 Tablične vrijednosti svojstava metala . . . 169
11.53 Tablice profila . . . 228

11.6 Ispitivanje metala . . . 268

11.61 Svrha i načini ispitivanja . . . 268
11.62 Statička opterećenja . . . 268
11.621 Ispitivanja vlačnih naprezanja . . . 268
11.622 Ispitivanje tlačnih naprezanja . . . 274
11.623 Ispitivanje otpornosti na savijanje . . . 276
11.624 Ispitivanje torzije . . . 276
11.625 Ispitivanje smičnih naprezanja (odrez) . . . 277
11.63 Ispitivanje tvrdoće . . . 278
11.631 Ispitivanje po Brinellu . . . 278
11.632 Ispitivanje tvrdoće po Vickersu . . . 280
11.633 Ispitivanje tvrdoće po Rockwellu . . . 280
11.634 Ispitivanje tvrdoće po Shoreu . . . 288
11.64 Ispitivanje žilavosti . . . 289
11.641 Uređaji za ispitivanje . . . 289
11.642 Utjecaj oblika prijeloma . . . 290
11.643 Utjecaj temperature . . . 290
11.65 Ispitivanje trajne čvrstoće . . . 290
11.651 Općenito . . . 290
11.652 Uređaji za ispitivanje trajne čvrstoće . . . 290
11.653 Rezultati ispitivanja trajne čvrstoće . . . 292
11.654 Ubrzano ispitivanje . . . 292
11.66 Tehnološka ispitivanja . . . 293
11.661 Ručna ispitivanja u hladnom stanju . . . 293
11.662 Ispitivanje pomoću alata . . . 294
11.663 Ispitivanja u vrućem stanju . . . 295
11.664 Iskrenje . . . 296
11.67 Ispitivanje materijala bez razaranja (defektoskopija) . . . 296
11.671 Makroskopska ispitivanja . . . 296
11.672 Ispitivanje pomoću radioaktivnih izotopa . . . 297
11.673 Ispitivanje ultrazvukom . . . 298
11.674 Magnetska ispitivanja . . . 299
11.675 Ispitivanje materijala luminiscencijom . . . 299
11.676 Ispitivanje metalne površine . . . 300

12 SINTROVANI MATERIJALI 303

12.1 Uvod 304

12.2 Svojstva i proizvodnja praha 305

12.3 Zgušćivanje praha 306

12.4 Sintrovanje 306

12.5 Primjena sintrovanih materijala 307

12.501 Kovine s visokim talištem 307
12.502 Strojni dijelovi 308
12.503 Klizni materijali 309
12.504 Tarni materijali 309
12.505 Porozni materijali 309
12.506 Materijali za kontakte 310
12.507 Materijali za vakuumsku tehniku 310
12.508 Materijali za magnete 310
12.509 Materijali za obradu i oblikovanje 310
12.510 Vatrostalni materijali 313
12.511 Materijali za nuklearnu tehniku 314

13 UMJETNI MATERIJALI (PLASTIČNE MASE) 315

13.1 Općenito o plastičnim masama 316

13.11 Svojstva plastičnih masa 317
13.12 Primjena plastičnih masa 317
13.13 Dobivanje plastičnih masa 318
13.131 Polimerizacija 318
13.132 Polikondenzacija 319

13.2 Podjela plastičnih masa 320

13.21 Podjela prema načinu nastajanja 320
13.211 Sintetske plastične mase 320
13.212 Polusintetske plastične mase 321
13.213 Umjetna vlakna 321
13.22 Podjela prema toplinskim svojstvima 321
13.221 Termoplastične tvari (termoplasti) 321
13.222 Termostabilne tvari (duroplasti) 321
13.23 Podjela prema fizikalnim svojstvima 321
13.231 Duroplasti 322
13.232 Termoplasti 322
13.233 Elasti 322
13.234 Fluidoplasti 322

13.3 Kratice za označivanje visokopolimernih spojeva na bazi kemijske identifikacije 322

13.4 Dodaci plastičnim masama 323

13.41 Punila 323
13.42 Plastifikatori 323
13.43 Stabilizatori 323
13.44 Akceleratori (otvrdivači) 323
13.45 Boje 324
13.46 Sredstva za podmazivanje 324

13.5 Oblici sirovih plastičnih masa za tržište 324

13.6 Identifikacija plastičnih masa 324

13.7 Pregled svojstava važnijih plastičnih masa 326

13.701 Polietilen 326

13.702 Polipropilen 327
13.703 Poliizobutilen 328
13.704 Polistirol 329
13.705 Polivinil-klorid (tvrdi) 330
13.706 Polivinil-klorid (meki) 331
13.707 Poli-tetra-etilen 332
13.708 Polimetakrilat 333
13.709 Fenolne smole 334
13.710 Aminoplasti 335
13.711 Poliesterske smole 336
13.712 Poliamid 337
13.713 Silikoni 338
13.714 Poliuretani 339
13.715 Epoksi-smole 340
13.716 Vulkan-fiber 341
13.717 Celulozni hidrat 342
13.718 Celulozni nitrat 343
13.719 Celulozni acetat 344
13.720 Celulozni eteri 345

14 NEMETALI 346

14.01 Drvo 348

14.011 Općenito o drvetu 348
14.012 Tehnička svojstva drveta 350
14.013 Trajnost drveta 355
14.014 Greške drveta 355
14.015 Zaštita drveta 356
14.016 Prerada drveta 357
14.017 Ispitivanje drveta 358

14.02 Ljepila 359

14.03 Prirodni i umjetni kamen 362

14.031 Vrste i svojstva prirodnog kamena 362
14.032 Obrada kamena 366
14.033 Umjetno kamenje 367
14.034 Vatrostalni materijali (vatrostalno kamenje) 368
14.035 Gline 369
14.036 Keramički proizvodi 373
14.037 Pečena opeka 374

14.04 Veziva 376

14.041 Ilovača 377
14.042 Vapno 377
14.043 Gips ili sadra 377
14.044 Magnezija-cement (Sorel-cement) 378
14.045 Hidraulična vapna 378
14.046 Cementi 378
14.047 Ispitivanje veziva 380

14.05 Mortovi (malteri) 381

14.051 Svojstva mortova 382
14.052 Vrste mortova 382

14.06 Beton 383

14.061 Vrste betona 384
14.062 Svojstva betona 384
14.063 Korozija betona 385

14.07 Staklo 386
14.071 Vrste stakla 386
14.072 Sigurnosno staklo 387
14.073 Dobivanje stakla 388
14.074 Bojenje stakla 388

14.08 Koža 389
14.081 Anatomija kože 389
14.082 Završna obrada kože 389
14.083 Umjetna koža 390

14.09 Kaučuk — guma 390
14.091 Prirodni kaučuk 390
14.092 Sirovi kaučuk 390
14.093 Vulkaniziranje kaučuka 391
14.094 Vrste gume 391
14.095 Proizvodi prirodnog kaučuka dobiveni pretvorbom 392
14.096 Kaučuku slične sirovine 392
14.097 Umjetni (sintetski) kaučuk) 393

14.10 Papir 393
14.101 Vrste papira 393
14.102 Ispitivanje papira 394

14.11 Tekstilna i mineralna vlakna 397
14.111 Tekstilna vlakna 397
14.112 Mineralna vlakna — azbest 398

14.12 Boje i lakovi 398
14.121 Vezivo 399
14.122 Pigment 399
14.123 Otapala 400
14.124 Omekšivači 400
14.125 Sikativi ili sredstva za sušenje 400
14.126 Ostale boje i primjena 400

14.13 Sredstva za brušenje (abrazivi) 404
14.131 Prirodna sredstva za brušenje 406
14.132 Umjetni materijali za brušenje 406
14.133 Brusna sredstva u primjeni 406

14.14 Ostali nemetalni materijali 407
14.141 Pluto 407
14.142 Čađa 407
14.143 Katran 408
14.144 Bitumen 408
14.145 Asfalt 409
14.146 Krovna ljepenka 409
14.147 Kitovi 410

14.15 Eksplozivi 410
14.151 Vrste eksploziva 411
14.152 Pojedini eksplozivi 411

2 TEHNOLOŠKI POSTUPCI 413

211 OBRADA SKIDANJEM STRUGOTINE 416

211.01 Temelj obrade skidanjem strugotine 416
211.011 Alati i njihovi kutovi 418

211.012 Teorija stvaranja strugotine 420
211.013 Strugotina 421
211.014 Sile rezanja 422
211.015 Osnovna kretanja alata i materijala 423
211.016 Obrađena površina 424

211.02 Tokarenje 427
211.021 Alati i njihovi kutovi pri tokarenju 427
211.022 Elementi za formiranje strugotine 432
211.023 Brzina rezanja pri tokarenju 433
211.024 Postojanost tokarskih alata 434
211.025 Sile pri tokarenju 438
211.026 Snaga pri tokarenju 440
211.027 Fino tokarenje 440

211.03 Blanjanje 441
211.031 Opis rada i podjela postupaka 441
211.032 Alati pri blanjanju i dubljenju 442
211.033 Brzine rezanja pri blanjanju 443
211.034 Sile rezanja pri blanjanju i dubljenju 445
211.035 Snaga pri blanjanju i dubljenju 446

211.04 Bušenje 447
211.041 Alati pri bušenju 447
211.042 Sile na svrdlu pri bušenju 449
211.043 Brzina rezanja pri bušenju 450
211.044 Snaga potrebna za rezanje pri bušenju 450
211.045 Specifična zapremnina strugotine 451
211.046 Postojanost alata pri bušenju 451
211.047 Presjek strugotine i opterećenje svrdla pri upuštanju . . . 454
211.048 Presjek strugotine i opterećenje razvrtača 455

211.05 Glodanje 455
211.051 Opis rada i podjela postupka glodanja 456
211.052 Alati i njihovi kutovi pri glodanju 457
211.053 Brzina rezanja pri glodanju 458
211.054 Posmik pri glodanju 459
211.055 Debljina strugotine pri glodanju 459
211.056 Postojanost alata pri glodanju 460
211.057 Sile rezanja pri glodanju 460
211.058 Snaga pri glodanju 462

211.06 Grebanje 463
211.061 Alati za grebanje 464
211.062 Brzine rezanja pri grebanju 465
211.063 Sile pri grebanju 466

211.07 Brušenje 467
211.071 Načini brušenja 468
211.072 Alati za brušenje 470
211.073 Oblici alata za brušenje 473
211.074 Brzine rezanja pri brušenju 474
211.075 Sile rezanja pri brušenju 475
211.076 Oblik strugotine pri brušenju 475
211.077 Postojanost brusne ploče 476
211.078 Snaga pri brušenju 476

211.08 Ljuštenje 476

211.09 Rezanje (piljenje) 477
211.091 Alati za piljenje 477
211.092 Brzine rezanja pri piljenju 479
211.093 Sile rezanja pri piljenju 480

211.10 Ozubljivanje 480
211.101 Izrada navoja 480
211.102 Izrada navoja na bušilici 482
211.103 Zupčanici 484

211.11 Lepanje 488
211.111 Alati za lepanje 489

211.12 Honanje 491

211.13 Superfiniš 493

211.14 Poliranje 494

211.15 Ručne obrade 495
211.151 Uvod 495
211.152 Turpijanje i brušenje 495
211.153 Grecanje 496
211.154 Bušenje rupa 497
211.155 Sječenje sjekačima 498

211.16 Specijalne vrste obrade 499
211.161 Ultrazvučna brusilica 500
211.162 Elektroerozivni strojevi 501
211.163 Elektrokemijska obrada 502
211.164 Elektroanodno brušenje 502

212 ALATNI STROJEVI ZA OBRADU METALA . . . 507

212.01 Elementi alatnih strojeva 507
212.010.1 Radna vretena 507
212.010.2 Ležaji radnih vretena 509
212.010.3 Ostale osovine i uležištenja 512
212.010.4 Prijenosnici za rotacijska i translatorna kretanja 513
212.010.5 Vodilice za pravocrtna kretanja 525
212.010.6 Postolja, kućišta, kreveti i dr. 528
212.010.7 Sigurnosni elementi, spojke, kočnice, mehanizmi za upravljanje 529
212.010.8 Podmazivanje 532
212.010.9 Uređaji za rashladivanje 533
212.011.0 Prihvatni elementi za izradak 534
212.011.1 Uređaji za kopiranje 537
212.011.2 Automatizacija 539

212.02 Tokarilice 547
212.020.1 Jednostavne tokarilice 547
212.020.2 Univerzalne tokarilice 547
212.020.3 Kopirne tokarilice 553
212.020.4 Planske tokarilice 554
212.020.5 Karusel-tokarilice 555
212.020.6 Revolverske tokarilice 556
212.020.7 Automati 559
212.020.8 Tokarilice za natražno tokarenje 562
212.020.9 Teške tokarilice 562
212.021.0 Tokarilice za obradu ingota 563

212.03 Blanjalice 564
212.031 Kratkohodne blanjalice 564
212.032 Dugohodne blanjalice 566
212.033 Dubilice 568
212.034 Blanjalice za patrice 570
212.035 Blanjalice za utore 570
212.036 Blanjalice za obradu rubova limova 570

212.04 Bušilice 570
212.040.1 Stolne i stolno-stupne bušilice 570
212.040.2 Stupne bušilice (sa stalkom) 571
212.040.3 Redne bušilice 573
212.040.4 Revolverske bušilice 574
212.040.5 Viševretene bušilice 575
212.040.6 Radijalne bušilice 576
212.040.7 Horizontalne bušilice-glodalice 578
212.040.8 Koordinatne bušilice 580
212.040.9 Bušilice za duboko bušenje 581
212.041.0 Bušilice za navoje 582

212.05 Glodalice 583
212.050.1 Istosmjerno glodanje 588
212.050.2 Horizontalne glodalice 590
212.050.3 Univerzalne glodalice 591
212.050.4 Vertikalne glodalice 591
212.050.5 Alatne glodalice 592
212.050.6 Planske glodalice 592
212.050.7 Uzdužne glodalice 593
212.050.8 Kopirne glodalice 594
212.051.0 Uređaji za dijeljenje 595

212.06 Provlačilice 601

212.07 Brusilice 603
212.071 Brusilice za okruglo vanjsko brušenje 608
212.072 Univerzalne brusilice 609
212.073 Brusilice bez šiljaka 609
212.074 Brusilice za unutrašnje brušenje 610
212.075 Brusilice za ravno brušenje 611

212.08 Strojne pile i turpije 613
212.081 Kružne pile 613
212.082 Tračne pile 614
212.083 Lučne pile 614

212.09 Strojevi za ozubljavanje 615
212.091 Strojevi za obradu čeonih zupčanika blanjanjem pomoću alata u obliku zubne letve 617
212.092 Strojevi za obradu zupčanika blanjanjem pomoću alata u obliku zupčanika 618
212.093 Strojevi za odvalno glodanje čeonih zupčanika i pužnih kola 621
212.094 Strojevi za obradu stožnih zupčanika 624
212.095 Strojevi za finu obradu zupčanika 630

212.10 Strojevi završne obrade površine 633
212.101 Polirke 633
212.102 Strojevi za lepanje 634
212.103 Strojevi za honanje 635

212.11 **Specijalni strojevi** 637
212.111 Specijalni stroj za ljuštenje navoja 637
212.112 Ugradbene jedinice, agregatni strojevi, transfer-staze . . 638
212.113 Transfer staze 641

22 PLASTIČNA OBRADA 646

22.1 Iz teorije plastičnog oblikovanja 646
22.11 Uvjet plastičnog tečenja 646
22.12 Stupanja deformacije 647
22.13 Brzina deformacije 647
22.14 Očvršćenje materijala 648
22.15 Opadanje čvrstoće s porastom temperature za četiri vrste ugljikovih čelika 649
22.16 Nekoliko formula za računsko određivanje sila deformacije i naprezanja 650

22.2 Kovačka proizvodnja 651
22.21 Slobodno kovanje 651
22.22 Kovanje u ukovnjima 653
22.23 Kovački strojevi 660
22.24 Kovačke peći 669

22.3 Duboko vučenje 674
22.31 Vučenje bez stanjenja stijenke 674
22.32 Kaczmarekov dijagram 675
22.33 Stupnjevanje vučenja 675
22.34 Skice alata 676
22.35 Određivanje promjera rondele 677
22.36 Ispupčenje izvučenih predmeta 680
22.37 Vučenje sa stanjenjem stijenke 680
22.38 Određivanje sile deformacije 681
22.39 Proizvodnja danceta 682

22.4 Savijanje 683
22.41 Kružno savijanje 683
22.42 Kružno savijanje profila, šipki i cijevi 685
22.43 Profilno savijanje 686
22.44 Proizvodnja profila iz traka pomoću valjanja 686
22.45 Alati za savijanje 687
22.46 Sile savijanja 689
22.47 Kalibriranje profila 691
22.48 Podaci o dimenzioniranju kalupa za savijanje V-profila i ⌴-profila 691

22.5 Provlačenje 692
22.51 Upotreba 692
22.52 Provlačenje šipkastog materijala punog presjeka 692
22.53 Provlačenje šupljih profila 693
22.54 Očvršćenje i otvrdnuće materijala prilikom hladnog provlačenja 695
22.55 Izbor maziva 695
22.56 Programiranje provlačenja 696
22.57 Brzine provlačenja 697
22.58 Oblikovanje i materijal provlačnih matrica 698
22.59 Strojevi za provlačenje 699

22.6 Postupci hladnog oblikovanja 700
22.61 Hladno sabijanje ili prešanje 700

22.62 Hladno duboko utiskivanje 702
22.63 Površinsko valjanje 706
22.64 Pečatanje 707
22.65 Utiskivanje navoja i ozubljenja 707

22.7 Proizvodnja šipkastog polufabrikata pomoću ekstruzije 709
22.71 Materijal trupca 710
22.72 Temperatura i brzina isprešavanja 710
22.73 Prognječenost materijala 710
22.74 Sile isprešavanja 711
22.75 Oblikovanje i materijal matrice 711
22.76 Ekstruzione preše 711

22.8 Valjanje 714
22.81 Termička obrada 714
22.82 Valjaonice 715
22.83 Sistemi valjaka valjačkog stroja 716
22.84 Valjački strojevi 717
22.85 Valjani čelični proizvodi 718

23 LIJEVANJE 725

23.01 Kalupni materijal 726
23.011 Ljevački pijesak 726
23.012 Ispitivanje i ocjena ljevačkog pijeska 726
23.013 Priprema pijeska 727
23.014 Vezivna sredstva 729
23.015 Dodaci 729

23.02 Izrada kalupa 729
23.021 Kalupnici 729
23.022 Kalupljenje u kalupnicima 730
23.023 Kalupljenje bez kalupnika 730
23.024 Izrada jezgri 731
23.025 Modelne ploče 731
23.026 Strojevi za kalupljenje 732

23.03 Sušenje kalupa i jezgri 732
23.031 Proces sušenja 732
23.032 Sušare 733
23.033 Pojave pri sušenju 734

23.04 Izrada modela 734
23.041 Materijali za izradu modela i jezgrenika 734
23.042 Skupljanje i negativni dodaci 734
23.043 Dodaci za obradu 735
23.044 Zakošenje 736
23.045 Bojenje modela 736
23.046 Tolerancija za točnost modela 738

23.05 Sastavljanje zasipa za sivi liv 738
23.051 Sirovo željezo 738
23.052 Specijalno sirovo željezo i ferolegure 739
23.053 Lomljevina sivog liva i čelični otpaci 739
23.054 Stupanj zasićenosti 739
23.055 Izgor i dogor u kupolnoj peći. Sredstva za odsumporivanje 740
23.056 Primjer proračuna zasipa 740

23.06 Peći za taljenje sivog liva 741
23.061 Plamene peći 741
23.062 Kupolne peći 742
23.063 Električne peći 744
23.064 Ostale vrste peći 745

23.07 Izrada kovkastog liva (temper-liv) 745
21.071 Osnovi 745
23.072 Sirovine za kovkasti liv 746
23.073 Taljenje i lijevanje kovkastog liva 746
23.074 Žarenje kovkastog liva 746

23.08 Izrada čeličnog liva 747
23.081 Osnovi 747
23.082 Taljenje u Siemens-Martinovim pećima 748
23.083 Taljenje u elektro-pećima 748
23.084 Taljenje u konverterima 749
23.085 Kalupi za čelični liv 749
23.086 Žarenje čeličnog liva 750

33.09 Izrada liva obojenih metala 750
23.091 Peći za taljenje obojenih metala 750
23.092 Taljenje i lijevanje teških obojenih metala 751
23.093 Taljenje i lijevanje lakih obojenih metala 752
23.094 Kalupljenje 752

23.10 Specijalni postupci lijevanja 752
23.101 Školjkasti liv 752
23.102 Precizni liv 753
23.103 Tlačni liv 754
23.104 Bezdani liv 755
23.105 Nodularni liv 756

23.11 Centrifugalni liv 756
23.111 Osnovi 756
23.112 Postupci 757
23.113 Primjena 757
23.114 Svojstva centrifugalno lijevanih materijala 757

23.12 Čišćenje odljevaka 758
23.121 Istresanje 758
23.122 Grubo čišćenje 759
23.123 Odvajanje priljevaka 760
23.124 Brušenje 762

23.13 Greške na odljevcima 763

23.14 Popravljanje odljevaka 764
23.141 Metalizacija 764
23.142 Impregnacija 765
23.143 Kitanje 765
23.144 Zavarivanje čeličnog liva 765
23.145 Zavarivanje sivog liva 766
23.146 Zavarivanje kovkastog liva 767
23.147 Zavarivanje aluminija i njegovih slitina 767
23.148 Zavarivanje bronce 767

24 SPAJANJE 769

24.1 Zavarivanje 771
24.11 Definicija 771
24.12 Zavarljivost 773
24.13 Napetosti pri zavarivanju 777
24.131 Napetosti i deformacije pri zavarivanju 777
24.132 Nastajanje pri zavarivanju 777
24.133 Utjecaj napetosti na čvrstoću zavarenog komada 779
24.15 Postupci zavarivanja 780
24.151 Plinsko zavarivanje 780
24.152 Ručno elektrolučno zavarivanje otvorenim lukom 784
24.153 Elektrolučno zavarivanje pod zaštitnom letvom 791
24.154 Elektrolučno zavarivanje pod praškom 791
24.155 Elektrolučno zavarivanje pod zaštitom plinova 794
24.156 Elektro-zavarivanje pod šljakom 805
24.157 Aluminijsko zavarivanje 805
24.158 Elektrootporno zavarivanje 806
24.16 Zavarivanje raznih metala 810
24.161 Zavarivanje čelika 810
24.162 Čelični i sivi liv 812
24.163 Zavarivanje aluminija i njegovih legura 813
24.164 Zavarivanje bakra i njegovih legura 815
24.17 Ispitivanje i kontrola zavarivanja 817

24.2 Rezanje i žlijebljenje metala 818
24.21 Rezanje metala 818
24.211 Plinsko rezanje — kisikom 818
24.212 Plinsko rezanje kisikom uz upotrebu željeznog praška 820
24.213 Elektrolučno rezanje kisikom 821
24.214 Plazma-rezanje 823
24.22 Žlijebljenje 825
24.221 Plinsko žlijebljenje 825
24.222 Elektrolučno žlijebljenje 826

24.3 Lemljenje 826

24.4 Lijepljenje 832

25 POVRŠINSKA ZAŠTITA 835

25.1 Vrste korozije i njeno ekonomsko značenje 836

25.2 Korozivna svojstva konstruktivnih materijala 837

25.3 Zaštitne prevlake 839

25.4 Razne metode zaštite 846

26 PRERADA PLASTIČNIH MASA 849

26.01 Osnovi prerade plastičnih masa 850

26.02 Injekcijsko brizganje 850
26.021 Bojenje granulata 851
26.022 Sušenje granulata 851
26.023 Predgrijavanje granulata 851
26.024 Doziranje 851
26.025 Plastificiranje 852
26.026 Potiskivanje 852
26.027 Kalupljenje 853
26.028 Hlađenje odljevaka u kalupe 856
26.029 Izbacivanje odljevaka 856

26.03 Prešanje 857
26.031 Načini prešanja 858
26.032 Tehnologija prerade prešanjem 858
26.033 Dorada otpresaka 859
26.034 Strojevi za preradu prešanjem 859

26.04 Ekstrudiranje plastičnih masa 860
26.041 Proces ekstrudiranja 860
26.042 Izvlačenje profila i cijevi ekstrudiranjem 861
26.043 Oblaganje metalne žice plastičnom masom 862
26.044 Izrada puhanih proizvoda 862
26.045 Izrada plastične folije puhanjem 863
26.046 Izrada plastične folije ekstrudiranjem kroz široku mlaznicu . 864
26.047 Izrada traka i ploča ekstrudiranjem 864
26.048 Nanašanje plastične mase na podlogu (kaširanje) 864

26.05 Oblikovanje gotovih proizvoda na toplo (termo-oblikovanje) 864
26.051 Oblikovanje savijanjem 865
26.052 Oblikovanje izvlačenjem 865
26.053 Oblikovanje prešanjem u kalupu 868

26.06 Sintrovanje u vrtlogu 868

26.07 Nanošenje plastičnih masa plamenim štrcanjem 869

26.08 Obrada plastičnih masa skidanjem strugotine 871

26.09 Postupci dotjerivanja površine 871
26.091 Završno brušenje i poliranje 871
26.092 Lakiranje 873
29.093 Površinsko bojenje 873
26.094 Metalizacija 873
26.095 Galvanizacija 873
26.096 Flokiranje 873
26.097 Štampanje 873
26.098 Utiskivanje 874

26.10 Spajanje elemenata od plastičnih masa 874
26.101 Vijčani spoj 874
26.102 Zakovice 875
26.103 Stezni spoj 875
26.104 Lijepljenje 876
26.105 Zavarivanje 876

26.11 Prerada ekspandirajućeg polistirena 882
26.111 Predekspandiranje 882
26.112 Konačno oblikovanje 883

26.12 Prerada poliesterskih smola 883
26.121 Priprema smjese 883
26.122 Ručni postupak 884
26.123 Nanošenje prskanjem 885
26.124 Prerada fleksibilnom vrećom 886
26.125 Prerada u autoklavu 886
26.126 Prešanje u zatvorenom kalupu 887
26.127 Prerada prethodno impregniranom armaturom 887

27 PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA 889

27.01 Faktori koji utječu na točnost pri obradi 891
27.011 Sile pri obradi 891
27.012 Krutost sistema stroj—naprava—izradak—alat 891
27.013 Točnost alatnog stroja i pribora 892
27.014 Točnost stezanja izratka 892
27.015 Točnost alata 892
27.016 Temperatura 893
27.017 Zajedničko djelovanje svih faktora koji utječu na točnost obrade 893

27.02 Točnost izrađenih dijelova 893
27.021 Točnost jednog izratka 893
27.022 Točnost serije izradaka 894
27.023 Aktivna kontrola tehnološkog procesa 894

27.03 Dodaci za obradu 895
27.031 Pojam dodatka za obradu 895
27.032 Dodatak za operaciju 896
27.033 Ukupni dodatak za obradu 896

27.04 Iskoristivost materijala 896
27.041 Izbor oblika pripremka 896
27.042 Iskoristivost materijala 897

27.05 Baze i mjere 898
27.051 Pojam baze 898
27 052 Konstruktivne baze 898
27.053 Tehnološke baze 898
27.054 Kontrolne baze 898
27.055 Izbor baze 898

27.06 Operacija 899
27.061 Pojam operacije 899
27.062 Radno mjesto 899
27.063 Režimi rada 900
27.064 Vrijeme izrade 900
27.065 Pomagala 900

27.07 Tehnološki i proizvodni proces 901
27.071 Vrsta događaja 901
27.072 Tehnički proces 901
27.073 Proizvodni proces 901

27.08 Principi projektiranja tehnološkog procesa 903
27.081 Tipovi proizvodnje 903
27 082 Protočna proizvodnja 903
27.083 Koncentracija i podjela operacija 903
27.084 Redoslijed obrade 904

27.09 Tehnološka dokumentacija 904
27.091 Operacijski list 904
27.092 Instrukcijski list 906
27.093 Redoslijed operacija 906
27.094 Pregled alata 906
27.095 Narudžba alata i naprava 906
27.096 Karta kontrole 907

27.097 Karta transporta . . . 907
27.098 Prijedlog za izmjenu i obavijest o izmjeni . . . 907

27.10 Pomagala u radu tehnologa . . . 907

27.101 Uzorni procesi . . . 907
27.102 Podaci o režimima . . . 907
27.103 Elementi vremena izrade . . . 908
27 104 Kartoteka . . . 908
27.105 Plan poduzeća . . . 908

27.11 Grupna tehnologija . . . 908

27.111 Ideja tipizacije . . . 908
27.112 Tipovi dijelova . . . 908
27.113 Kompleksni dio . . . 909
27.114 Tipičan proces . . . 910
27.115 Grupni proces . . . 910
27.116 Grupne naprave . . . 910

28 SASTAVLJANJE PROIZVODA . . . 911

28.1 Uvod . . . 912

28.2 Montažne jedinice . . . 912

28.3 Shema sastavljanja . . . 912

28.4 Redoslijed sastavljanja . . . 914

28.5 Proces sastavljanja . . . 914

28.6 Vrste spojnih površina . . . 915

28.7 Spojevi pri sastavljanju strojeva i mehanizama . . . 916

28.8 Lanac dimenzija . . . 916

28.9 Priprema dijelova za sastavljanje . . . 920

29 STEZNE I MJERNE NAPRAVE . . . 923

29.1 Općenito o steznim i mjernim napravama . . . 925

29.11 Pojam, zadatak i svrha naprave . . . 925
29.12 Pojam »baza« ili »osnova« . . . 925
29.13 Određivanje baza . . . 926
29.14 Oblikovanje i standardi . . . 927
29.15 Načela konstruiranja naprava . . . 928

29.2 Podjela naprava . . . 928

29.21 Stezne naprave za obradu skidanjem strugotine . . . 928
29.22 Stezne naprave za obradu bez skidanja strugotine . . . 929
29.23 Stezne naprave sa stajališta raznih načina upotrebe . . . 929

29.3 Utjecaji na stezne i mjerne naprave . . . 932

29.31 Broj komada izratka . . . 932
29.32 Plan proizvodnje . . . 933
29.33 Materijal izratka . . . 933
29.34 Stvarni odnos između naprave, izratka, alata, držala, stroja, mjerila i čovjeka . . . 933

29.4 Konstrukcijski elementi naprava . . . 936

29.41 Elementi za određivanje položaja . . . 936
29.42 Elementi za stezanje . . . 939
29.43 Ručna stezala . . . 940
29.431 Klinaste stege . . . 940
29.432 Vijčane stege . . . 941

29.433 Stezne krivulje i ekscentri . . . 941
29.434 Stezna poluga . . . 943
29.44 Ostali konstrukcijski elementi . . . 943
29.45 Sastavni dijelovi naprave . . . 943
29.46 Standardni elementi steznih naprava . . . 945
29.47 Kotiranje naprava . . . 946
29.48 Materijal za izradu naprava . . . 948
29.49 Konstrukcija i ispitivanje naprave . . . 949

29.5 Osnovni proračun stezanja kod naprava . . . 949

29.51 Sila stezanja kod klinova . . . 950
29.52 Sile stezanja kod vijaka . . . 950
29.53 Sila stezanja kod ekscentra . . . 951
29.531 Sila stezanja kod spiralnog ekscentra . . . 952
29.532 Sila stezanja kružnog ekscentra . . . 952
29.54 Sile stezanja kod steznih poluga . . . 953
29.55 Sile stezanja pri stezanju zrakom . . . 954
29.56 Sile stezanja pri hidrauličkom stezanju . . . 955
29.57 Sile stezanja pri stezanju plastičnim masama . . . 956

29.6 Analiza ekonomičnosti naprava . . . 957

29.61 Cijena koštanja izratka obrađenog bez naprave . . . 957
29.62 Cijena koštanja izratka izrađenog napravom . . . 958
29.63 Rentabilnost mehanizacije i automatizacije . . . 961

29.7 Primjer konstrukcije i mjerenja u mjernoj napravi . . . 962

3 MJERENJA U TEHNICI . . . 965

3.01 Mjerni sistemi . . . 967

3.011 Skalni — pokazni instrumenti . . . 967
3.012 Registracijski instrumenti . . . 968
3.013 Brojila . . . 968
3.014 Daljinski instrumenti . . . 968
3.015 Regulacijski instrumenti . . . 968
3.016 Instrumenti s otklonom i kompenzacijski instrumenti (kompenzacija = izjednačenje) . . . 969
3.017 Statički, dinamički i energetski instrumenti . . . 969
3.018 Greške pri mjerenju . . . 969

3.02 Mjerenje specifičnih težina . . . 971

3.021 Određivanje specifične težine krutih tijela . . . 971
3.022 Određivanje specifičnih težina tekućina . . . 974
3.023 Specifična težina plinova i para . . . 975
3.03 Mjerenje sila . . . 975
3.031 Vage . . . 975
3.032 Spiralne opruge . . . 975
3.033 Prstenasti dinamometri . . . 976
3.034 Hidraulični dinamometri . . . 976
3.035 Kondenzatorski dinamometri . . . 977
3.036 Mjerenje sila pomoću mjernih traka . . . 977

3.04 Mjerenje tlaka . . . 978

3.041 Vrste tlaka . . . 978
3.042 Statički tlak . . . 978
3.043 Dinamički i totalni tlak . . . 978
3.044 Instrumenti za mjerenje tlaka . . . 979

3.044 a) Mjerne tekućine . . . 982
3.045 Manometri s Bourdonovom cijevi . . . 982
3.046 Manometri s valovitom membranom . . . 983
3.047 Manometri s valovitom komorom . . . 984
3.048 Barometri . . . 984

3.05 Mjerenje dužina . . . 985
3.051 Pomična mjerila . . . 985
3.052 Mikrometri . . . 986
3.053 Mjerne ure . . . 989
3.054 Konačne mjerke . . . 990
3.055 Kalibri . . . 992
3.056 Pneumatski mjerači . . . 993

3.06 Mjerenje površina . . . 994
3.061 Postupak s milimetarskim papirom . . . 995
3.062 Simpsonovo pravilo . . . 995
3.063 Polarni planimetar . . . 995

3.07 Mjerenje brojeva okreta i brzina . . . 996
3.071 Mehanički mjerači . . . 997
3.072 Optičko mjerenje . . . 998
3.073 Brzina strujećih medija . . . 999
3.074 Mjerna prigušnica . . . 999
3.075 Pito — Prandtlova cijev . . . 999
3.076 Voltmanovo hidrometrijsko krilo . . . 1000
3.077 Anemometar . . . 1000
3.078 Mjerenje akceleracije — retardacije . . . 1000

3.08 Mjerenje snage, radnje, zakretnog momenta . . . 1001
3.081 Kočni dinamometri . . . 1001
3.082 Transmisijski dinamometri . . . 1002
3.083 Torzijski dinamometri . . . 1002

3.09 Mjerenje temperature . . . 1003
3.091 Vrste termometara . . . 1006
3.092 Segerovi čunjići . . . 1011

3.10 Mjerenje razine . . . 1011
3.101 Mjerenje plovkom . . . 1011
3.102 Mjerenje razine na načelu hidrostatskog pritiska . . . 1012
3.103 Kapacitivni mjerači razine . . . 1012
3.104 Električko mjerenje . . . 1013

3.11 Mjerenje količina . . . 1013
3.111 Tvari koje miruju . . . 1013
3.112 Tvari koje se gibaju . . . 1014

3.12 Mjerenje vodljivosti . . . 1016
3.13 Električna mjerenja . . . 1017
3.131 Mjerenje jakosti istosmjerne struje . . . 1017
3.132 Mjerenje napona istosmjerne struje . . . 1017
3.133 Mjerenje otpora . . . 1018
3.134 Mjerenje snage istosmjerne struje . . . 1019
3.135 Mjerenje snage jednofaznog potrošača izmjenične struje . . . 1019

3.14 Mjerenje pH-vrijednosti . . . 1020
3.141 Mjerenje pH-vrijednosti lakmusovim papirom . . . 1020
3.142 Mjerenje kolorimetrijskim papirom . . . 1021

3.143 Mjerenje ph-metrima . . . 1021
3.144 Mjerne elektrode . . . 1021
3.145 Utjecaj temperature . . . 1021
3.146 Postupak pri mjerenju . . . 1022

3.15 Analiza plinova . . . 1022
3.151 Mjerenje na bazi toplinske vodljivosti plinova . . . 1023
3.152 Magnetsko mjerenje . . . 1023
3.153 Analizator s apsorpcijom infracrvenih zraka . . . 1023

3.16 Ispitivanje mazivih ulja i masti . . . 1024
3.161 Fizikalna ispitivanja . . . 1024
3.162 Kemijske metode . . . 1029
3.163 Mehaničke metode ispitivanja ulja i masti . . . 1030

4 EKONOMIKA I ORGANIZACIJA . . . 1031

41 EKONOMIKA I ORGANIZACIJA PODUZEĆA . . . 1031

41.1 Poduzeće . . . 1032
41.11 Kapacitet . . . 1032
41.12 Sredstva poduzeća . . . 1032
41.13 Troškovi i kalkulacija . . . 1033

41.2 Ekonomska mjerila uspjeha poslovanja poduzeća . . . 1034
41.21 Ekonomičnost . . . 1034
41.22 Rentabilnost . . . 1034
41.23 Proizvodnost . . . 1034

41.3 Organizacija, upravljanje, rukovođenje . . . 1035
41.31 Planiranje u poduzeću . . . 1037
41.32 Investicije . . . 1037
41.33 Proizvodnja . . . 1037
41.34 Komercijalno, privrednoračunsko i financijsko poslovanje . . . 1038

42 PRIPREMA RADA . . . 1039

42.1 Priprema rada . . . 1041
42.2 Tehnološka priprema . . . 1049
42.3 Priprema alata . . . 1049
42.4 Operativna priprema . . . 1050

43 STUDIJ RADA . . . 1061

43.1 Uvod . . . 1063
43.2 Studij i analiza . . . 1063
43.21 Zadaci i analiza vremena . . . 1063
43.22 Sastavni elementi vremena . . . 1064
43.23 Procjena zalaganja . . . 1069
43.24 Snimanje kronometrom . . . 1069
43.25 Snimanje s procjenom zalaganjem . . . 1072
43.26 Ostale metode za utvrđivanje vremena . . . 1074
43.27 Snimanje gubitaka u radu . . . 1082
43.28 Izvršenje normi i njihova realnost . . . 1085

43.3 Pojednostavnjenje rada . . . 1086
43.31 Svrha i potreba pojednostavnjenja . . . 1086
43.32 Faze rada u provođenju pojednostavnjenja . . . 1086

43.33 Izbor problema 1086
43.34 Izračunavanje koristi 1088
43.35 Prikupljanje činjenica — snimak sadašnjeg načina rada . . . 1090
43.36 Proučavanje i razrada poboljšanog načina rada 1094
43.37 Provedba poboljšanog načina rada 1101
43.38 Standardizacija rada 1101

44 ODRŽAVANJE 1103

44.1 Priprema rada održavanja 1104
44.11 Snimanje kvarova i određivanje tehnološkog procesa za popravak i izradu novih dijelova 1105
44.2 Podmazivanje strojeva i uređaja 1106
44.3 Preventivni pregledi strojeva i uređaja 1108
44.4 Definiranje i organiziranje planskih popravaka i planiranje materijala i rezervnih dijelova za popravke . . 1110
44.5 Planiranje i određivanje rokova za radove u radionicama održavanja 1114
44.6 Izrada i lansiranje radne dokumentacije 1118

45 ZAŠTITA PRI RADU 1121

45.1 Opći pregled zaštite 1122
45.11 Svrha i zadaci zaštite pri radu 1122
45.12 Čovjek i rad 1123
45.13 Ekonomski gubici oštećenja ljudskog organizma pri radu . . 1124

45.2 Zaštitne mjere pri radu 1126
45.21 Projektiranje zaštite pri radu 1126
45.22 Građevni uređaji 1127
45.23 Opća načela sigurnosti pri radu kod oruđa za rad 1128
45.24 Zaštitne mjere kod strojeva za preradu i obradu drveta i sličnih materijala 1130
45.25 Zaštitne mjere pri radu na strojevima i uređajima za obradu metala 1132
45.26 Mjere za zaštitu od električne struje 1134
45.27 Zaštitne mjere pri radu s ostalim strojevima, ručnim alatom i pomoćnim sredstvima 1134
45.28 Zaštitne mjere kod transportnih uređaja 1135
45.29 Zaštitne mjere pri radu jetkim i otrovnim tvarima 1135

45.3 Organizacija provedbe sigurnosnih mjera pri radu . . 1136

46 PRVA POMOĆ 1139

46.1 Opći pogledi 1140
46.2 Mehaničke povrede 1140
46.3 Termičke povrede 1144
46.4 Povrede kiselinama i lužinama 1145
46.5 Povrede električnom strujom 1146
46.6 Kronična trovanja i profesionalne bolesti 1147
46.7 Povrede pojedinih dijelova tijela 1149

KAZALO 1150

SKRAĆENI SADRŽAJ

1 MATEMATIKA 1
11 TABLICE 7
12 LOGARITAMSKO RAČUNALO 55
13 ARITMETIKA I ALGEBRA: Pregled brojeva — Opći brojevi — Jednadžbe — Nizovi — Funkcije 66
14 DIFERENCIJALNI I INTEGRALNI RAČUN: Derivacija funkcija — Derivacije višeg reda — Rastenje i opadanje funkcija — Neodređeni integral — Određeni integral 96
15 ANALITIKA U RAVNINI: Pravac — Čunjosječnice 115
16 VEKTORSKI RAČUN: Skalari i vektori — Računske operacije s vektorima 120
17 VJEROJATNOST I STATISTIKA: Kombinatorika — Vjerojatnost — Empirički podaci — Diskontinuirane slučajne varijable — Kontinuirane slučajne varijable 127
18 NOMOGRAFIJA: Skale — Nomogrami 146

2 STANDARDIZACIJA 165
Uvodni pojmovi — Nivo standarda — Glavna obilježja — Pregled — Konkretne uštede

3 MJERE I OZNAKE 177
Opća načela — Načini pisanja veličina i brojeva u nauci i tehnici — Sistemi mjera — Decimalni dijelovi i višekratnici — Zakon o mjernim jedinicama u SFRJ — Razne jedinice veličina (geometrijske, vremenske, mase, sile, energetske, toplinske, elektromagnetizma, optičke, akustičke)

4 FIZIKA 215
41 MEHANIKA: Statika — Kinematika — Dinamika 220
42 NAUKA O ČVRSTOĆI: Naprezanja i deformacije — Izbor materijala — Momenti — Vlak i tlak — Savijanje — Smicanje — Uvijanje — Izvijanje — Složena naprezanja — Mjerenje naprezanja 275
43 MEHANIKA FLUIDA: Osnovna svojstva tekućina — Hidrostatika i aerostatika — Elementi hidrodinamike — Istjecanje kroz otvore, pražnjenje spremnika — Primjena zakona količine gibanja na tekućine — Laminarno i turbuletno strujanje — Štetne pojave u cjevovodima — Otpor uronjenog tijela — Krila i lopatice . . . 331
44 TERMODINAMIKA: Osnovni termodinamički pojmovi — Idealni plin — Isparivanje i kondenzacija — Strujanje plinova i para — Prijelaz topline — Vlažan zrak — Izgaranje 381
45 AKUSTIKA: Uvod — Izvor, širenje i prijem zvuka — Primjene u tehnici 535

46 OPTIKA: Priroda i brzina svjetlosti — Fotometrija — Osnovni zakoni — Disperzija — Interferencija — Difrakcija — Moć razlučivanja optičkog sistema — Polarizacija — Fotoelektrički efekt — Primjena 549

47 ELEKTROTEHNIKA: Elektrostatika — Istosmjerna struja — Kemijski izvori EMS — Magnetizam — Izmjenična struja — Višefazni sistemi 567

48 NUKLEARNA FIZIKA: Osnovni pojmovi — Atom i atomska jezgra — Nuklidi — Radioaktivno raspadanje i zračenje — Nuklearne reakcije — Oslobađanje nuklearne energije — Dozimetrija 669

5 KEMIJA: Svojstva i struktura materije — Struktura atoma — Periodni sistem elemenata — Kemijsko spajanje — Kemijska ravnoteža — Elektroliza — Metali i nemetali — Anorganski i organski spojevi 691

6 GORIVA — MAZIVA — VODA 741

7 TEHNIČKO CRTANJE . . . . . Standardi za izradu tehničkih crteža — Predočavanje oblika — Prostorno predočavanje — Kotiranje — Obrada — Tolerancije — Presjeci, prodori i mreže — Simboli — Elementi konstruiranja . . 775

8 ELEKTRIČNO GRIJANJE I RASVJETA 837

SKRAĆENI SADRŽAJ

5 ELEMENTI STROJEVA

5.1 **Sredstva za spajanje:** Zavareni, lemljeni i lijepljeni spojevi — Zakovani spojevi — Stezni i porubljeni spojevi — Vijčani spojevi — Veze sa glavinama — Veze sa zaticima i svornjacima — Opruge

5.2 **Sredstva okretnog gibanja:** Osovine, vratila i rukavci — Ležaji — Spojke

5.3 **Prenos snage:** Zupčanici — Remenski prijenos — Tarenice

5.4 **Cijevni vodovi i zaporni organi:** Cijevi — Zaporni organi

5.5 **Brtve i brtvenje:** Materijali — Brtve za dijelove koji miruju — Brtve za pokretne dijelove — Automatske brtve — Brtvene tekućine — Brtvenje bez brtvenice — Zaštitne brtve

5.6 **Klipni mehanizmi:** Klipni mehanizmi — Zamašnjaci — Ručice i koljenasta vratila — Ekscentri — Poluge — Križne glave — Klipnjače i ojnice — Klipovi i stapovi

6 STROJEVI

61 **Načela pretvorbe oblika energije:** Energetski izvori — Načela pretvorbe energije (potrošnja, prikaz pretvorbi, karakteristike, energetske cjeline)

62 **Proizvodnja pare:** Propisi, norme, standardi — Izvedbe parnih kotlova — Dijelovi kotla — Iskoristivost — Izmjena energije — Uređaji za izgaranje — Priprema vode — Pomoćni uređaji kotla

63 **Pogonski i radni stapni strojevi**

63.1 Osnove stapnih strojeva: Opći pojmovi, terminologija, izvedbe — Kinematika stapnog mehanizma — Uravnoteženje — Određivanje snage stroja — Ispitivanje — Regulacija

63.2 Stapni parni strojevi: Rad parnog stroja — Razvodnici

63.3 Motori s unutarnjim izgaranjem: Kružni procesi — Radni ciklusi — Pogonska sredstva — Glavni dijelovi — Podmazivanje — Hlađenje Pogon — Motori s rotacijskim klipom (Wankel)

63.4 Stapne pumpe: Uvod — Iskoristivost — Određivanje osnovnih veličina — Ventili — Ublaživači protoka — Najčešći oblici

64 **Pogonski i radni rotacioni strojevi**

64.1 Pregled i karakteristike turbostrojeva

64.2 Parne turbine: Opći pojmovi — Kondenzaciona parna turbina i ciklus termoelektrane — Industrijski turbinski pogon — Brodski turbinski kompleks — Podmazivanje — Uređaji za kondenzaciju

64.3 Plinske turbine: Opći pojmovi — Plinske turbine u transportu, elektroprivredi i za pogon radnih strojeva — Glavni dijelovi i sistemi

64.4 Vodne turbine: Uvod — Podjela i izbor tipa — Turbine sa slobodnim mlazom — Pretlačne turbine — Pojave istrošenja dijelova — Ispitivanje modela

65 **Pomoćni uređaji u energetskim pretvorbama:** Tehnički izmjenjivači topline — Cjevovodi — Pretvarači — Regulacija — Automatizacija

66 **Električni strojevi:** Općenito — Transformatori — Sinhroni, asinhroni istosmjerni strojevi — Kolektorski strojevi izmjenične struje — Pretvarači — Elektromotorni pogoni

67 **Investicije**

68 **Operativno održavanje:** Svrha aktivnosti — Organizacija — Pravilno korištenje sredstava — Preventivni planski pregledi i popravci — Podmazivanje strojeva i uređaja

69 **Zamjena proizvodnih sredstava:** Opći principi — Tehnička računanja — Primjer analize

7 RUKOVANJE MATERIJALOM

71 **Osnovne karakteristike sipkog materijala**

72 **Transportna sredstva:** Sredstva za zahvat materijala — Konstruktivni dijelovi — Pogon — Konvejeri — Dizalice — Vitla — Granici — Ručna industrijska vozila — Industrijska motorna vozila

73 **Ambalaža i pakiranje:** Podjela — Materijal — Izvedbe — Unutarnja zaštita — Opći standardi — Proizvodnja i ispitivanja — Smještaj i oprema odjela za pakiranje — Osnovni tipovi

74 **Skladišta u strojogradnji:** Projektiranje — Smještaj materijala — Izvedba i smještaj skladišta — Oprema za smještaj materijala — Transportna oprema — Veličina skladišnog prostora — Iskoristivost — Skladištenje na otvorenom

KAZALO

MILANEZ Maks, dipl. inženjer strojarstva

METALI

11.1 METALOGRAFIJA 9
Suština građe, skrućivanje i promjene nakon skrućivanja metala — Nepravilnosti kristalnih rešetki — Ravnoteža kod skrućivanja — Opći dijagrami slijevanja — Peritektična prekristalizacija — Sistemi slijevanja — Značaj za razvoj nauke o metalima

11.2 NEKA SVOJSTVA METALA 29
Mehanička svojstva — Obradivost rezanjem — Fizikalna svojstva

11.3 ŽELJEZO I ČELIK 62
Sistem slijevanja Fe-C — Sirove i lijevane slitine željeza — Utjecaj neželjeznih elemenata — Prerada čelika — Toplinska obrada čelika — Specijalni čelici — Metalografski prikaz nekih vrsta čelika

11.4 NEŽELJEZNI METALI 122
Bakar — Bakrene slitine — Laki metali — Metali niskog tališta — Ležajne (antifrikcione) slitine — Rijetki metali

11.5 STANDARDI 158
Standardizacija metala — Tablične vrijednosti svojstava metala — Tablice profila

11.6 ISPITIVANJE METALA 268
Svrha i načini ispitivanja — Mirna opterećenja — Ispitivanje tvrdoće, žilavosti, trajne čvrstoće — Tehnološka ispitivanja — Ispitivanje materijala bez razaranja

Literatura:

1 *Malešević:* Osnovi nauke o metalima, Sveučilište, Zagreb 1965. (skripta)
2 *Horvat:* Mehanička tehnologija, Tehnička knjiga, Zagreb 1964.
3 *Terseglav:* Predlog za normiranje alatnih čelika — časopis »Teška industrija«, br. 8/9—1950.
4 JUS standardi, Katalog JUS standarda, 1966.
5 *Bela:* Utjecaj dušika na mehanička svojstva čelika, »Strojarstvo«, Zagreb, br. 5/6—1966.
6 *Kerec:* Jugoslavenski čelik, izdanje Metalbiroa, Zagreb, 1964.
— Tipizacija čelika, izdanje Metalbiroa, Zagreb 1965.
7 *Kraut:* Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb 1965.
8 Industrijska defektoskopija (I), Sarajevo
9 *Piwowarsky:* Hochwertiges Grauguss, 1963.
10 *Daeves:* Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, 1963.
11 *Hänchen:* Neue Festigkeitsberechnung für den Maschinenbau, 1965.
12 Dubbel's Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer Verlag, Berlin 1955.
13 *Fraussen-Schladitz-Borchers:* »Mechanische Eigenschaften und praktische Verwendung von Whiskern«, časopis »Metall«, br. 1, 1966.
14 *Wellinger-Gimmel-Uebing:* Werkstoffprüfung der Metalle, Stuttgart 1960.
15 *Opitz-Dude:* Allgemeine Werkstoffprüfung für Ingenieurschulen, Leipzig 1963.
16 *Nitzsche:* Werkstoffprüfung von Metallen, Leipzig 1963.
17 *Oehler:* Das Blech und seine Prüfung, Springer, Berlin 1953.
18 Mašinostroenie, Tom 3, Moskva 1947.
19 *Sokolov:* Defektoskopija materialov, Moskva—Lenjingrad 1957
20 *Küntscher:* Technische Baustähle, Leipzig 1958.
21 Razni standardi i publikacije.

Oznaka	Značenje	Jedinica SI	Uobičajena jedinica
a	amplituda		
A	krajnja lijeva tačka ($B = 0$) likvidus — linije	m^2	m^2
	opterećena površina pri zagrijavanju	°K	°C
A_c	modifikaciona temperatura pri ohlađivanju	°K	°C
A_r	modifikaciona temperatura	m^2	cm^2
A'	površina nakon kontrakcije		
Å	angstrom = 10^{-7} mm		
B	krajnja desna tačka ($A = 0$) likvidus — linije	m	cm
d_o	promjer pokusnog štapa prije ispitivanja		
E	eutektikum — tačka u dijagramu slijevanja	N/m^2	kp/cm^2
	modul elastičnosti	m	cm
f	progib	N	kp
F	opterećenje, sila općenito	N/m^2	kp/cm^2
G	modul smika (klizanja)		
h_k	visina pokusnog štapa nakon ispitivanja na tlak	m	cm
h_o	visina pokusnog štapa prije ispitivanja na tlak	m	cm
H	kratkotrajno pothlađivanje modifikacione temperature		
HB	tvrdoća po Brinellu (promjer utiska kuglice)		
HR_b	tvrdoća po Rockwellu (dubina utiska kuglice)		
HR_c	tvrdoća po Rockwellu (dubina utiska dijamantne oštrice)		
HV	tvrdoća po Vickersu (dijagonale utiska piramide)		
l_o	dužina pokusnog štapa prije ispitivanja	m	cm
l_s	stvarna dužina štapa	m	cm
Q	količina topline	J	kcal
s′	linija granice rastvorivosti sekundarnih kristala uz niske koncentracije ispod t_e (lijevo u dijagramu)		
s″	linija granice rastvorivosti uz visoke koncentracije ispod t_e (desno u dijagramu)		
		m	cm
t	dubina redukcije	s	s
τ	vrijeme	°K	°C
t^0	temperatura	°K	°C
t_e	eutektična temperatura		kcal/s
v_k	kritična brzina hlađenja	m^3	cm^3
V	volumen	m^3	cm^3
W	moment otpora		
α	α-mješanci koeficijent prijelaza topline	W/m^2K	kcal/hm°C
α^e	eutektični α-mješanci		
α_k	faktor oblika		
α'	primarni α-mješanci		
β	kristali čiste komponente B		
β^e	eutektični β-mješanci		
β_{id}	eutektoidni β-mješanci		
β_k	faktor konstruktivnog utjecaja zareza, utora, oštrih prijelaza		
β'	primarni β-mješanci		
γ	modificirana kristalna rešetka		
δ	prvonastala faza kristalne rešetke čiste osnove		
	rešetke čiste osnove	m^2	cm^2
ΔA	smanjenje, odnosno povećanje presjeka		
ε	jedinično (relativno) izduženje pokusnog štapa		
ε_t	relativno skraćenje pokusnog štapa		

Oznaka	Značenje	Jedinica SI	Uobičajena jedinica
ε_{tL}	jedinično skraćenje uzorka pri lomu od tlaka		
η_k	osjetljivost na utjecaj utora, zareza i oštrih prijelaza		
λ	toplinska vodljivost	W/mK	kcal/m, h, °C
ρ	polumjer zakrivljenosti	m	cm
	specifičan električni otpor		Ωm, $\Omega mm^2/m$
σ_a	naprezanja za amplitudu tltraja	N/m^2	kp/cm^2
σ_A	čvrstoća za amplitudu titraja	N/m^2	kp/cm^2
σ_d	titrajno naprezanje na vlak	N/m^2	kp/cm^2
σ_{dI}	izmjenično naprezanje općenito	N/m^2	kp/cm^2
σ_{dn}	pulzirajuće naprezanje (općenito)	N/m^2	kp/cm^2
σ_{ds}	savojno titrajno naprezanje	N/m^2	kp/cm^2
σ_{dt}	titrajno naprezanje na tlak	N/m^2	kp/cm^2
σ_D	trajna čvrstoća	N/m^2	kp/cm^2
σ_{DI}	trajna izmjenična (titrajna) čvrstoća pri kojoj σ koleba za $\pm\sigma_a$ oko σ_m	N/m^2	kp/cm^2
σ_{Dn}	trajna čvrstoća glatkog štapa (nazivna)	N/m^2	kp/cm^2
σ_{DN}	trajna pulzirajuća čvrstoća pri kojoj σ koleba za σ_a iznad i ispod σ_m	N/m^2	kp/cm^2
σ_E	granica elasticiteta	N/m^2	kp/cm^2
σ_k	trajna čvrstoća (izdržljivost) zareznog štapa	N/m^2	kp/cm^2
σ_L	lomna čvrstoća (općenito)	N/m^2	kp/cm^2
σ_m	srednja vrijednost između maksimalnog i minimalnog naprezanja	N/m^2	kp/cm^2
σ_{max}	maksimalno naprezanje	N/m^2	kp/cm^2
σ_{min}	minimalno naprezanje	N/m^2	kp/cm^2
σ_n	nazivno naprezanje	N/m^2	kp/cm^2
σ_N	vremenska čvrstoća (općenito)	N/m^2	kp/cm^2
σ_{Nl}	vremenska titrajna čvrstoća	N/m^2	kp/cm^2
σ_{Np}	vremenska pulzirajuća čvrstoća	N/m^2	kp/cm^2
σ_{pr}	prednapon (općenito)	N/m^2	kp/cm^2
σ_P	granica proporcionaliteta	N/m^2	kp/cm^2
σ_r	radijalna komponenta naprezanja	N/m^2	kp/cm^2
σ_R	granica razvlačenja (općenito)	N/m^2	kp/cm^2
σ_{RD}	donja granica razvlačenja	N/m^2	kp/cm^2
σ_{RG}	gornja granica razvlačenja	N/m^2	kp/cm^2
σ_s	naprezanje na savijanje (općenito)	N/m^2	kp/cm^2
σ_{sD}	titrajna čvrstoća savijanja	N/m^2	kp/cm^2
σ_{sL}	lomna čvrstoća na savijanje	N/m^2	kp/cm^2
σ_{sR}	granica razvlačenja na savijanje	N/m^2	kp/cm^2
σ_t	naprezanje na tlak (općenito)	N/m^2	kp/cm^2
σ_{tL}	lomna čvrstoća na tlak	N/m^2	kp/cm^2
σ_{tR}	granica razvlačenja na tlak	N/m^2	kp/cm^2
σ_u	uzdužna komponenta naprezanja	N/m^2	kp/cm^2
σ_v	naprezanje na vlak (općenito)	N/m^2	kp/cm^2
σ_{vL}	lomna čvrstoća na vlak	N/m^2	kp/cm^2
σ_{vR}	granica razvlačenja na vlak	N/m^2	kp/cm^2
$\sigma_{0,2}$	naprezanje pri produženju 0,2 %	N/m^2	kp/cm^2
$\sigma_{0,01}$	naprezanje pri kojem je trajno produženje 0,01 %	N/m^2	kp/cm^2
$\sigma_{0,005}$	naprezanje pri kojem je trajno produženje 0,005 %	N/m^2	kp/cm^2
τ	vrijeme	s	s
τ_E	smična naprezanja na granici elasticiteta	N/m^2	kp/cm^2
τ_o	naprezanje na odrez (općenito)	N/m^2	kp/cm^2
τ_{oL}	lomna čvrstoća na odrez	N/m^2	kp/cm^2

Oznaka	Značenje	Jedinica SI	Uobičajena jedinica
τ_{oR}	granica razvlačenja na odrez	N/m²	kp/cm²
τ_s	naprezanje na smik	N/m²	kp/cm²
τ_S	čvrstoća na smik	N/m²	kp/cm²
τ_t	naprezanje na torziju	N/m²	kp/cm²
τ_{tD}	titrajno naprezanje na torziju	N/m²	kp/cm²
τ_{tL}	lomna čvrstoća na torziju	N/m²	kp/cm²
τ_{tR}	granica razvlačenja na torziju	N/m²	kp/cm²

POPIS UPOTRIJEBLJENIH STANDARDA

Standard	Poglavlje	Standard	Poglavlje
JUS C.D2.102	11.421.1	JUS C.A4.013	11.621.2
C.D2.302	11.421.2	C.A4.015	11.621.2
C.D2.104	11.421.31	C.A4.005	11.623
C.D2.303	11.421.32	C.A4.003	11.631
C.D2.300	11.422.11	C.A4.030	11.632
C.D2.301	11.422.13	C.A4.031	11.633.1
C.D2.101	11.422.13	C.A4.004	11.64
C.D2.103	11.422.21	C.A4.020	11.661.2
C.D2.304	11.422.22	C.A4.018	11.661.3
C.D2.107	11.422.3	C.A4.019	11.661.4
C.D2.307	11.422.4	C.A4.016	11.622.1
C.C1.100	11.431	C.A4.010	11.662.2
C.J2.020	11.52—2	C.A4.011	11.662.3
C.J3.011	11.52—4	C.A4.007	11.662.4
C.J2.021	11.52—5	C.A4.009	11.662.5
C.K5.020	11.52—6	C.A4.021	11.662.7
C.B4.014	11.52—12	C.A4.006	11.663.3
C.B0.505	11.52—18	C.B5.122	11.362.5
C.B9.020	11.52—19	C.B5.123	11.362.5
C.B9.021	11.52—20	C.B5.124	11.362.5
C.B0.551	11.52—22	C.B5.225	11.362.5
C.B3.521	11.52—34	DIN 17007	11.52—7
C.A4.013	11.621.2	DIN 41301	11.361.3
C.A4.012	11.621.2	DIN 1705	11.422.22

TUMAČ POJMOVA IZ METALOGRAFIJE

Alotropija — pojavljivanje nekog kemijskog elementa u obliku različitih tvari koje se razlikuju i po strukturi i po svojstvima

Alotropska modifikacija — oblikovanje strukture jednog elementa (zbog različitih uvjeta) u različitim kristalnim rešetkama

Amorfan — bezličan, bez pravilnog oblika, koji se i ne može regulirati

Anizotropija — pojava širenja nekog svojstva samo u određenom smjeru (odnosno smjerovima)

Atom — najsitnija čestica kemijskog elementa, donedavna nedjeljiva (grč. »atom« znači nedjeljiv)

Binarna slitina — spoj metala s još jednim elementom (metalom ili nemetalom)

Difuzija — prodiranje jedne tvari u drugu (npr. atoma u kristalnu rešetku nekog drugog elementa)

Dilatometar — aparat za određivanje dimenzionalne promjene tekućina i krutih tijela prilikom zagrijavanja

Dinamična izdržljivost

Dendrit — kristalni skelet u obliku razgranatog drva (jele) — nastao pri nezavršenom razvitku kristala

Distorzija — izvitoperenje rešetke (npr. uslijed useljavanja atoma drugog elementa)

Elektron — elementarna, negativno nabijena čestica atoma koja se giba oko atomske jezgre

Eutektikum — fina smjesa dvaju ili više tvrdih faza koje se istodobno iskristaliziraju iz rastvora ili slitine pri stalnoj temperaturi (najniže za taljevinu dotičnih komponenata).

Heksagonska (kompaktna) rešetka — oblik kristala prema sistemu kristalizacije kod kojeg postoji maksimalan broj osi simetrija

Histereza — zaostajanje, zakašnjenje, zavisnost reakcije nekog tijela (na vanjske utjecaje) od toga da li je ono bilo već prije podvrgnuto tim istim utjecajima ili im se podvrgava prvi put

Interkristaliničan prijelom — prijelom duž granice zrna kristala, odnosno kristalita

Intermetalan spoj — međusobni spoj dvaju ili više elemenata kemijskim putem (sasvim nova rešetka!)

Ion — električki nabijen atom (ili grupa atoma). Javlja se uslijed gubitka ili dobitka elektrona.

Izotropija — pojava širenja nekog svojstva u svim smjerovima jednako

Jezgra atoma — središnji dio atoma oko kojeg su poredani elektroni. Sastoji se od protona i neutrona.

Kalavi metali — metali koji kristaliziraju s heksagonskom rešetkom

Klica — najmanja (submikroskopska) kristalna jedinica u taljevini oko koje se počnu okupljati atomi, začetnik kristalizacije

Klizne ravnine — ravnine unutar tvari po kojima se čestice međusobno pomiču (kližu)

Kristal — kruto tijelo čije su čestice raspoređene u određenom poretku koji se ponavlja. Čestice mogu biti atomi ili ioni.

Kristalizacija — proces nastajanja i rastenja kristala neke tvari prilikom prijelaza iz plinovitog ili tekućeg stanja u kristalno (ali i pri raspadu krutih rastvora)

Kristalit — nepravilno oblikovano zrno metala nastalo kristalizacijom koja je završena time što je međusobno osujećeno daljnje rastenje kristala

Kruta smjesa kristala — smjesa individualno (samostalno) razvijenih kristala u metalu, svakog sa svojom rešetkom

Kvaziizotropija — izotropija samo na (vanjski) izgled

Kubna rešetka — oblik kristalne rešetke sa tri osi simetrije koje prolaze kroz središte kristala

Latentna toplina taljenja — prikrivena toplina koja se troši na promjenu unutarnjeg stanja, npr. kristalne rašetke

Likvidus — tekuć. — Likvidus-linija: krivulja uz koju se tekuće stanje počinje pretvarati u kruto.

Ljuska — zamišljena staza po kojoj se elektroni (jedan ili više njih) gibaju oko atomske jezgre

Oznaka	Značenje	Jedinica SI	Uobičajena jedinica
τ_{oR}	granica razvlačenja na odrez	N/m²	kp/cm²
τ_s	naprezanje na smik	N/m²	kp/cm²
τ_S	čvrstoća na smik	N/m²	kp/cm²
τ_t	naprezanje na torziju	N/m²	kp/cm²
τ_{tD}	titrajno naprezanje na torziju	N/m²	kp/cm²
τ_{tL}	lomna čvrstoća na torziju	N/m²	kp/cm²
τ_{tR}	granica razvlačenja na torziju	N/m²	kp/cm²

POPIS UPOTRIJEBLJENIH STANDARDA

Standard	Poglavlje	Standard	Poglavlje
JUS C.D2.102	11.421.1	JUS C.A4.013	11.621.2
C.D2.302	11.421.2	C.A4.015	11.621.2
C.D2.104	11.421.31	C.A4.005	11.623
C.D2.303	11.421.32	C.A4.003	11.631
C.D2.300	11.422.11	C.A4.030	11.632
C.D2.301	11.422.13	C.A4.031	11.633.1
C.D2.101	11.422.13	C.A4.004	11.64
C.D2.103	11.422.21	C.A4.020	11.661.2
C.D2.304	11.422.22	C.A4.018	11.661.3
C.D2.107	11.422.3	C.A4.019	11.661.4
C.D2.307	11.422.4	C.A4.016	11.622.1
C.C1.100	11.431	C.A4.010	11.662.2
C.J2.020	11.52—2	C.A4.011	11.662.3
C.J3.011	11.52—4	C.A4.007	11.662.4
C.J2.021	11.52—5	C.A4.009	11.662.5
C.K5.020	11.52—6	C.A4.021	11.662.7
C.B4.014	11.52—12	C.A4.006	11.663.3
C.B0.505	11.52—18	C.B5.122	11.362.5
C.B9.020	11.52—19	C.B5.123	11.362.5
C.B9.021	11.52—20	C.B5.124	11.362.5
C.B0.551	11.52—22	C.B5.225	11.362.5
C.B3.521	11.52—34	DIN 17007	11.52—7
C.A4.013	11.621.2	DIN 41301	11.361.3
C.A4.012	11.621.2	DIN 1705	11.422.22

TUMAČ POJMOVA IZ METALOGRAFIJE

Alotropija — pojavljivanje nekog kemijskog elementa u obliku različitih tvari koje se razlikuju i po strukturi i po svojstvima

Alotropska modifikacija — oblikovanje strukture jednog elementa (zbog različitih uvjeta) u različitim kristalnim rešetkama

Amorfan — bezličan, bez pravilnog oblika, koji se i ne može regulirati

Anizotropija — pojava širenja nekog svojstva samo u određenom smjeru (odnosno smjerovima)

Atom — najsitnija čestica kemijskog elementa, donedavna nedjeljiva (grč. »atom« znači nedjeljiv)

Binarna slitina — spoj metala s još jednim elementom (metalom ili nemetalom)

Difuzija — prodiranje jedne tvari u drugu (npr. atoma u kristalnu rešetku nekog drugog elementa)

Dilatometar — aparat za određivanje dimenzionalne promjene tekućina i krutih tijela prilikom zagrijavanja

Dinamična izdržljivost

Dendrit — kristalni skelet u obliku razgranatog drva (jele) — nastao pri nezavršenom razvitku kristala

Distorzija — izvitoperenje rešetke (npr. uslijed useljavanja atoma drugog elementa)

Elektron — elementarna, negativno nabijena čestica atoma koja se giba oko atomske jezgre

Eutektikum — fina smjesa dvaju ili više tvrdih faza koje se istodobno iskristaliziraju iz rastvora ili slitine pri stalnoj temperaturi (najniže za taljevinu dotičnih komponenata).

Heksagonska (kompaktna) rešetka — oblik kristala prema sistemu kristalizacije kod kojeg postoji maksimalan broj osi simetrija

Histereza — zaostajanje, zakašnjenje, zavisnost reakcije nekog tijela (na vanjske utjecaje) od toga da li je ono bilo već prije podvrgnuto tim istim utjecajima ili im se podvrgava prvi put

Interkristaliničan prijelom — prijelom duž granice zrna kristala, odnosno kristalita

Intermetalan spoj — međusobni spoj dvaju ili više elemenata kemijskim putem (sasvim nova rešetka!)

Ion — električki nabijen atom (ili grupa atoma). Javlja se uslijed gubitka ili dobitka elektrona.

Izotropija — pojava širenja nekog svojstva u svim smjerovima jednako

Jezgra atoma — središnji dio atoma oko kojeg su poredani elektroni. Sastoji se od protona i neutrona.

Kalavi metali — metali koji kristaliziraju s heksagonskom rešetkom

Klica — najmanja (submikroskopska) kristalna jedinica u taljevini oko koje se počnu okupljati atomi, začetnik kristalizacije

Klizne ravnine — ravnine unutar tvari po kojima se čestice međusobno pomiču (kližu)

Kristal — kruto tijelo čije su čestice raspoređene u određenom poretku koji se ponavlja. Čestice mogu biti atomi ili ioni.

Kristalizacija — proces nastajanja i rastenja kristala neke tvari prilikom prijelaza iz plinovitog ili tekućeg stanja u kristalno (ali i pri raspadu krutih rastvora)

Kristalit — nepravilno oblikovano zrno metala nastalo kristalizacijom koja je završena time što je međusobno osujećeno daljnje rastenje kristala

Kruta smjesa kristala — smjesa individualno (samostalno) razvijenih kristala u metalu, svakog sa svojom rešetkom

Kvaziizotropija — izotropija samo na (vanjski) izgled

Kubna rešetka — oblik kristalne rešetke sa tri osi simetrije koje prolaze kroz središte kristala

Latentna toplina taljenja — prikrivena toplina koja se troši na promjenu unutarnjeg stanja, npr. kristalne rašetke

Likvidus — tekuć. — Likvidus-linija: krivulja uz koju se tekuće stanje počinje pretvarati u kruto.

Ljuska — zamišljena staza po kojoj se elektroni (jedan ili više njih) gibaju oko atomske jezgre

Metalografija — nauka o strukturi metala i njihovih slitina

Metastabilno stanje — stanje koje je prisilno uspostavljeno pa je sklono mijenjanju čim se za to ostvare potrebni uvjeti.

Mješanac — kristal u kojem ostaje zadržana rešetka (koja se naziva i »rastvaračem«)

Mozaična struktura — skupovi kristala koji su samo neznatno pomaknuti jedan prema drugome

Modifikacija — preoblikovanje, veća ili manja izmjena oblika

Molekula — najsitnija čestica materije koja još zadržava svojstvo dotične tvari. Sastoji se od jednakih ili različitih atoma vezanih u kemijski spoj.

Monoklinski sistem — sistem kristaliziranja, koji može biti: — diedarski osni sistem, diedarski bezosni sistem, prizmatičan

Neutron — neutralna elementarna čestica materije, dio atomske jezgre — bez električnog naboja

Peritektikum — smjesa koja nastaje pri »peritektičnoj« reakciji koja homogenu taljevinu prilikom skrućivanja prevodi u područje dviju čvrstih (krutih) već postojećih kristalnih vrsta

Polimorfija — pojavljivanje istog elementa u više raznih tipova kristalne rešetke

Praznina rešetke — neispunjen (slobodan) dio rešetke

Primarni kristal — kristal koji nastaje neposredno iz taljevine

Proton — elementarna čestica materije, električki pozitivno nabijena. Sastavni dio atomske jezgre

Ravnoteža pri skrućivanju — stanje slitine koje joj najbolje pogoduje pa ga ona nastoji trajno održati kao stabilno

Rastežljivi metali — metali koji kristaliziraju popunjavanjem »slobodnih prostora« plošno centrirane kubne rešetke

Rešetka — pravilan (periodički) raspored atoma u kristalu

Romboedarski sistem — sastoji se od šest ploha — romba u trigonalnom sistemu (piramida, prizme itd.), za koje je karakteristično opće svojstvo postojanja osi simetrije trećega reda

Rompski sistem — sistem za koji su karakteristične različite stranice ($a \neq b \neq c$) i stalan kut ($\alpha = \beta = \gamma = 90°$)

Sekundarna kristalizacija — kristalizacija metala nakon završene primarne kristalizacije, tj. u krutom stanju

Solidus — krut; solidus-linija: krivulja uz koju se završava pretvaranje tekućeg stanja u kruto

Slitina (legura) — spoj nekog metala s jednim ili više drugih elemenata (kemijski ili metalografski)

Stabilno stanje — stanje koje se ne mijenja jer je nastalo tako što su zadovoljavani uvjeti njegova postojanja

Struktura — građa, ustroj, raspored kristalnih zrna u makrostrukturi, fazâ u mikrostrukturi i atoma u kristalnoj rešetki

Uključinski mješanac — mješanac-rastvarač u čije su se praznine uselili (uključili) atomi drugog (rastvorenog) elementa

Tekstura — pretežna orijentacija kristala koji čine polikristal duž određenog pravca ili ravnine. Usmjerenost kristala

Transkristaliničan prijelom — prijelom preko (unutrašnjosti) kristala, odnosno kristalita

Triklinski sistem — sistem kristaliziranja bez simetrije ili s jednim centrom simetrije

Whisker — sitna čestica metala (dužine cca 1 mm i mnogo sitnijeg promjera) (V. Metall 19/1965, str. 423.)

11 METALI

11.1 METALOGRAFIJA

11.11 SUŠTINA GRAĐE METALA

11.111 Uvod

Svojstva metala zasnovana su na njihovoj unutarnjoj građi (strukturi). Fizičari su došli do otkrića koja upućuju na određene predodžbe o toj građi pa ćemo neke od tih rezultata prikazati u grubim crtama i time protumačiti ne samo karakteristike pojedinih metala (odnosno vrsta metala) već i uvjete koji djeluju na ta svojstva, odnosno na njihovu promjenu.

Kemija, odnosno fizika uči da se materija sastoji od atoma, odnosno od molekula. Za klasičnu kemiju atomi su najmanje čestice neke tvari. Međutim, daljnja istraživanja materije pokazala su da se atom uglavnom sastoji od tri dijela: protona i neutrona, koji zajedno čine jezgru, i elektrona, koji tvore stanovit »oblog« oko te jezgre. Dva od tih djelića čak su električki aktivni: proton je nabijen pozitivnim elektricitetom, dok je elektron negativan. Treći, tj. neutron, u tom je pogledu neutralan, tj. bez naboja. »Oblogu« čine »ljuske« elektrona.

Redovito je masa jezgre sastavljena od većeg broja protona i neutrona (izuzetak je vodik), koji miruju, i elektrona, koji se velikom brzinom vrte oko jezgre i oko svoje osi, ali njihov negativan naboj ipak u svakom trenutku drži ravnotežu s pozitivnim nabojem jezgre, tj. s protonima. Sve se to, dakle, zbiva **unutar** atoma, što znači da je prema vani atom kao cjelina neutralan.

Ta predodžba postaje zamršenija kad se sjetimo da elektronima logično treba pripisati korpuskularni (tjelesni), a ujedno i valni karakter. Odmah nam se nameću razna pitanja o vodljivosti, odnosno propustljivosti »obloga« za takva munjevita gibanja elektrona. Kako sve te hipoteze nisu još posve objašnjene, za naše promatranje materije dovoljno je uočiti da postoji energetska ravnoteža između elektrona i jezgre oko koje oni kruže. Treba još podsjetiti da njihova vlastita energija pri tome ostaje konstantna pa će biti razumljivo da se u takvo »stacionarno stanje« teško probijaju novi elektroni, osobito u neposrednoj blizini jezgre. (Vidi o tome kvantnu teoriju, Literatura — Lit. 1 itd.)

Metalografija se, međutim, ne bavi slobodnim, već krutim i tek djelomice kapljevitim stanjima. Drugim riječima, bavi se molekulama ili takozvanim atomskim »agregatima«. Oni nastaju udruživanjem više ili manje stabilnih formacija. Svaki pojedini atom spaja se s više drugih atoma pa će ga oni okružiti. U tom uzajamnom zaokruživanju atomi će se morati poredati na jednake međusobne razmake, a to će dovesti do rasporeda atoma u prostorne rešetke. To neki fizičari zovu »metalnim« spajanjem atoma.

Razumije se da elektroni koji su pri takvom spajanju postali zajednički većem broju atoma, postaju ujedno i slobodniji budući da im se neprestano pruža mogućnost prelaženja od »roja« jednog atoma k drugome, odnosno k bilo kojem atomu bilo kojeg agregata. U cjelini će, dakle, agregat biti sastavljen od samih pozitivnih iona, raspoređenih rešetkasto, a oko toga bit će »maglica« slobodnih elektrona. Ta maglica objašnjava neka svojstva metala, u prvom redu njihovu visoku električnu vodljivost.

11.112 Dimenzije atoma

Atomski agregati nastaju i na druge načine, no mi ih nećemo pobliže razmatrati, već ćemo se ograničiti na spomenuta »metalna« spajanja atoma, koja tumače suštinu takozvanih metalnih »rešetki«. Dimenzije tih tvorevina fizičari mjere posebnim jedinicama, tj. angstromima (Å). Gledajući na tu jedinicu geometrijski, vidimo da ona ima red veličine 10^{-7} mm, tj. $1 \text{ Å} = 10^{-7}$ mm, dok je u fizikalnom smislu ta veličina (promjer) atoma. Prema njima

obično se izračunavaju međuatomski razmaci, budući da oni ovise o veličinama atoma. Stoga se kaže da su razmaci atoma »reda 1 Å«, a izražavaju se odgovarajućim faktorima, npr. 3 Å, 5,6 Å itd.

S druge strane, dimenzije elektrona su reda veličine 10^{-12} mm, a atomskih jezgri 10^{-11} mm. Kad se uzme u obzir da su veličine čitavih atoma reda 10^{-7} mm, vidi se kako je dimenzija elektrona (ali i jezgre!) neznatna prema cjelini atoma.

Uz određene uvjete razmaci atoma redovito su jednaki. Oni ovise o veličinama atoma, a tip njihova rasporeda zavisi od elektrona, odnosno od stabilnosti stanja »ljuski« od kojih je sastavljen »oblog« atoma. (Pobliže o tome vidi u kvantnoj teoriji.)

11.113 Da li atomi miruju kao cjeline

Valna teorija pretpostavlja da su atomi neprestano u stanju titranja, tj. da njihove položaje treba zamišljati kao neke srednje položaje oko kojih atomi titraju. Brzina i amplituda tih titraja rastu s temperaturom pa upravo tu ovisnost treba smatrati uzrokom što materija dolazi u različita agregatna stanja. Tako se, na primjer, atomi pri vrlo visokim temperaturama toliko brzo premještaju da svojim uzajamnim sudaranjem stvaraju napetost (pritisak pri plinovitom stanju!). Naprotiv, pri nižim temperaturama se brzina i amplituda titranja smanjuju te napetost toliko pada da druge sile dolaze do izražaja (težina mase, površinska napetost) pa se atomi svrstavaju gušće. Najgušći je njihov razmještaj u kapljevitom agregatnom stanju. U tom su stanju brzine i amplitude još uvijek razmjerno velike pa se atomi gotovo nesmetano premještaju i sele. Kao cjelina, kapljevina je stanje nesređenih atoma, dakle bez vlastitog vanjskog oblika, a to znači **amorfno** stanje. Amorfnost je, prema tome, karakteristika kapljevitog stanja, koje se nikad ne pripisuje krutom stanju, već samo još do krajnosti zgusnutim kapljevinama, eventualno pothlađenima, koje se praktički čine krutima (npr. staklo).

Seljenje atoma — karakteristično za kapljevine — traje sve dotle dok amplitude titranja atoma premašuju približno jednu osminu njihovih dimenzija. Prema tome, kad se s opadanjem temperature smanjuju i amplitude, one će doći na red veličina ispod jedne osmine veličine atoma pa će se na takav atom pojačati djelovanje drugih privlačnih i odbojnih sila iz susjedstva, koje i inače otprije djeluju na atom, ali još nisu došle dovoljno do izražaja. Zato u tom trenutku prestaje seljenje i atomi se ustaljuju u određenim položajima. Oni, dakako, i dalje titraju, ali samo oko svog ustaljenog srednjeg položaja. Tako nastaje kruto agregatno stanje.

11.114 Kristali

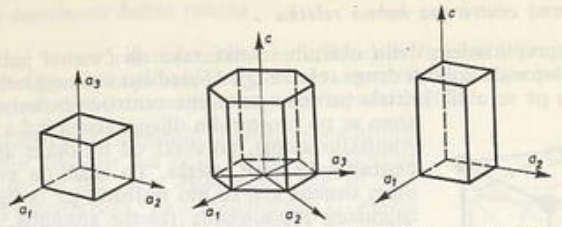
Između svih pridruženih atoma vlada podjednako kohezija pa se oni pravilno raspoređuju. To pravilno raspoređivanje atoma zovemo kristalizacijom, a nastale tvorevine kristalima. Djelići materije međusobno se razmještaju u toliko izrazitom skladu da pri skrućivanju metala dolazi upravo do nekih posve jednoznačno usmjerenih svojstava (za razliku od amorfnog stanja).

Kristali su, dakle, dijelovi krute materije u kojima su atomi pravilno raspoređeni, a prema vani omeđeni su pravilnim plohama. Kod metala se, dakako, susreće samo unutrašnja pravilnost, pa takve osnovne agregate zovemo i **kristalitima.**

11.115 Oblici kristalnih rešetki

Radiografskim ispitivanjem (metode Lauea, Debye-Scherrera, Bragga) zaključujemo da je razmještaj atoma unutar kristalita takav da međusobno najbliži atomi (ako ih zamislimo međusobno povezanima) čine pravilna geometrijska tijela, koja nazivamo **kristalnim rešetkama.**

Većina metala kristalizira se u tri kristalografska sistema: u kubnom ①$_1$, u heksagonskom ①$_2$ i tetragonskom ①$_3$.



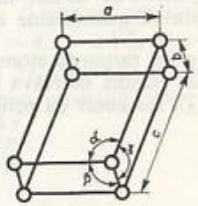
①$_1$ Kubna rešetka ①$_2$ Heksagonska rešetka ①$_3$ Tetragonska rešetka

Osim ovih ima još četiri sistema s ovim karakteristikama:

triklinski sistem ①$_4$

$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

$a \neq b \neq c$



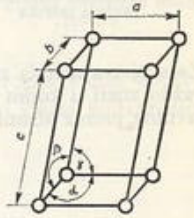
①$_4$ Triklinska rešetka

monoklinski sistem ①$_5$

$\alpha = \beta = 90°$

$\gamma \neq 90°$

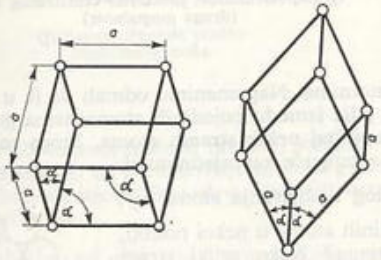
$a \neq b \neq c$



①$_5$ Monoklinska rešetka

romboedarski sistem ①$_6$ $a = b = c$

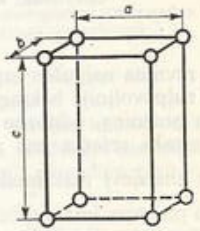
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$



①$_6$ Romboedarska rešetka

rompski sistem ①$_7$ $a \neq b \neq c$

$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



①$_7$ Rompska rešetka

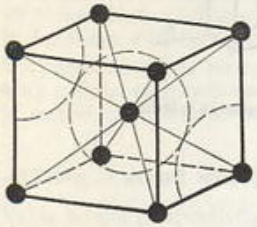
Prikazat ćemo ukratko ono najbitnije što rešetkasti sistemi znače za proučavanje praktičkih svojstava materijala.

11.115.1 Kubna rešetka

Većina najvažnijih metala kristalizira u kubnom sistemu. Pri tome oni, dakako, ne razvijaju običan kub, nego na dva različita načina isprepletene kubne rešetke.

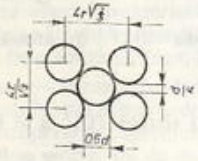
11.115.11 *Prostorno centrirana kubna rešetka*

Ona nastaje ispreplitanjem dviju običnih rešetki tako da čvorovi jedne rešetke ostaju u sjecištima dijagonala kubova druge rešetke ②. U središtu običnog kuba postoji, naime, još jedan atom pa se oblik kristala prozvao prostorno centriranim kubom. Taj središnji atom se po prostornim dijagonalama kuba dotiče svih osam »vanjskih« atoma, no svaki od tih osam atoma u stvari je **centar** neke nove rešetke. To znači da svaki od njih ima osam susjeda koji su mu **najbliži** jer ta dijagonala je pravac najgušćeg zaposjedanja rešetke atomima. Možemo zapaziti ovo: ako se atomi radijusa r dodiruju po dijagonalama, te će dijagonale imati dužinu $d = 4r$. Iz odnosa $d = a\sqrt{3}$ izlazi za stranicu kuba $a = 4r/\sqrt{3}$, što znači da je $a > 2r$. Prema tome, atomi se ne mogu dodirivati u pravcima koji se podudaraju sa stranicama kuba. Znači, na tim je pravcima gustoća atoma **manja.** Poznato nam je iz elementarne geometrije da kub ima četiri prostorne dijagonale, tj. četiri pravca maksimalne zaposjednutosti atoma.

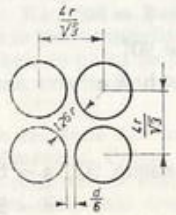


② Prostorno centrirana kubna rešetka

Za svojstva metala značajan je još raspored atoma **po ravninama** rešetki. Napose je važno znati u kojim ravninama rešetka sadržava najviše atoma. U našem slučaju to su ravnine prema shemi iz ③ i ④, što znači da prostorno centrirana kubna rešetka uopće



③ Zaposjednutost prostorno centriranog kuba

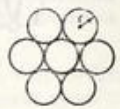


④ Zaposjednutost prostorno centriranog kuba (druga mogućnost)

nema ravnina najgušće zaposjednutosti atomima. Napomenimo odmah da je u tom pogledu najpovoljnija heksagonska rešetka, gdje između pojedinih atoma nema gotovo nikakvih praznina, odnosno »rezerve« za smještaj nekih stranih atoma. Stoga se kaže da heksagonska rešetka ima ravnine najveće moguće zaposjednutosti.

To su slučajevi maksimalnog međusobnog dodirivanja atoma ⑤.

Koliko prostora ima uopće između pojedinih atoma u nekoj rešetki, prikladnog za smještaj nekih stranih atoma? Kako veliki strani atomi mogu se smjestiti u nekoj rešetki, između njenih »vlastitih« atoma? Na ta pitanja najbolje odgovara geometrija pa smo zato i dimenzionirali razmake u svojim skicama. Naglasimo ponovo da su na plohama uvijek veći slobodni prostori nego u sredini. Kasnije ćemo spomenuti još neke mogućnosti smještanja stranih atoma u neku rešetku.



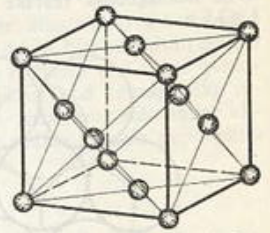
⑤ Zaposjednutost heksagonske rešetke

Od važnijih metala prema prostorno centriranoj rešetki kristaliziraju α-željezo, krom, molibden, vanadij, volfram i drugi. (Vidi tablicu 1.) Pokazat će se da ih uslijed toga možemo ubrojiti među takozvane **otporne metale.**

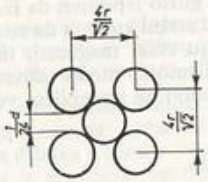
11.115.12 *Plošno centrirana kubna rešetka*

Plošno centrirana kubna rešetka nastaje ispreplitanjem četiriju običnih kubnih rešetki tako da u sjecišta dijagonala ploha jedne obične kubne rešetke padaju čvorovi triju drugih običnih kubnih rešetki. Osnovna je stanica prikazana na ⑥.

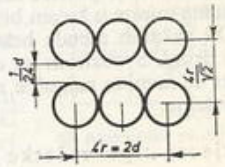
Razmotrimo dodirivanje susjednih atoma! U središtima ploha svaki atom dodiruje sva četiri atoma na vrhovima dotične plohe, no on leži još u dvije plohe koje su okomite s prvo promatranom, pa i međusobno. U svakoj od tih dviju (neprikazanih) ploha dodirivana su, dakle, još po četiri atoma, što daje ukupno njih 12. To su najbliži susjedi plošno centriranom atomu. Isto vrijedi za vršne atome, tj. svaki od njih leži i u sjecištu triju međusobno okomitih ploha. Takav atom ima, dakle, 12 »susjeda« s kojima se dotiče, odnosno koji su mu najbliži. Očigledno su najgušće zaposjednuti pravci u ovom slučaju upravo plošne dijagonale rešetke. Takvih pravaca ima u šest različitih smjerova. No ti pravci opet nisu identični sa stranicama rešetke: $d = 4r = a\sqrt{2}$, odnosno $a = 4r/\sqrt{2}$, što je opet veće od 2 r. Znači da se na tim pravcima atomi uopće ne dodiruju. Oni su, štaviše, međusobno udaljeniji nego što je to slučaj kod prostorno centrirane rešetke jer je: $\frac{4r}{\sqrt{2}} > \frac{4r}{\sqrt{3}}$!



⑥ Plošno centrirana kubna rešetka



⑦ Zaposjednutost plošno centriranog kuba



⑧ Zaposjednutost plošno centriranog kuba (druga mogućnost)

Što se tiče zaposjednutosti ravnina, pokazalo se ovdje da ni ravnine kuba ⑦ niti ravnine dodekaedra ⑧ ne predstavljaju osobitu gustoću atoma. Ako, međutim, zamislimo da smo iz tih kubova isjekli **oktaedre,** onda su nastale kose plohe tih oktaedara ravnine najveće zaposjednutosti.

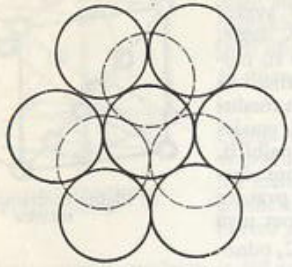
Zanimljivi su još »slobodni prostori« plošno centrirane kubne rešetke. Razmak atoma iznosi $4r/\sqrt{2}$, što znači da u tom slučaju raspolažemo većim slobodnim prostorima nego u prostorno centriranoj rešetki, tj. $4r/\sqrt{2} - 2r \approx 0{,}83\,r$. Praktički to znači da se u toj rešetki mogu smjestiti strani atomi koji su otprilike 2,4 puta manji od atoma koji sastavljaju tu rešetku. Od važnijih metala kristaliziraju po tom tipu aluminij, bakar, nikal, olovo, srebro, platina, zlato, γ-željezo, α-mangan, α-kobalt i drugi.

Te materijale ubrajamo u takozvane **rastežljive metale** zbog toga jer kristalne rešetke sadržavaju ravnine koje su najgušće zaposjednute atomima. To su četiri ravnine oktaedra koje se međusobno sijeku pod kutom od 90°. Ravnine oktaedra su, dakle, međusobno isprepletene, pa su navedeni materijali upravo zbog toga žilavi.

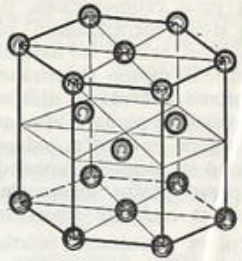
11.115.2 Heksagonska »kompaktna« rešetka

To je slučaj s **najgušće** mogućim rasporedom atoma, koji poput kugli ulaze među druge atome-kugle tako da se međuprostor do maksimuma popunjuje ⑨$_1$, ⑨$_2$.

Svaki atom je u svakoj ravnini dodirivan od šest susjednih. One tri crtkane kugle leže u srednjoj ravnini stanice pa i same pripadaju jednom heksagonu. Znači da se tu isprepliću dvije heksagonske rešetke tako da taj heksagon ima i svoju visinu, koja iznosi najmanje 1,633 a.



⑨$_1$ Prostorna zaposjednutost heksagona



⑨$_2$ Heksagonska rešetka (prostorno)

Ravnine najveće zaposjednutosti su paralelne i s bazom i međusobno. U njima leže, dakako, i **pravci** najveće zaposjednutosti u tri različita smjera, koji zatvaraju međusobno **kut 120°.**

Proizlazi, dakle, da je prostor heksagonske rešetke tako gusto ispunjen da između atoma gotovo i nema mjesta u kojem bi se mogao smjestiti neki strani atom, a da se ne izvitoperi rešetka. Od važnijih metala heksagonski se kristaliziraju cink, magnezij, titan, kadmij, α-kobalt i drugi. S obzirom na opisanu strukturu ubrajamo ih među takozvane **kalave metale** jer se ravnine najgušće zaposjednutosti međusobno ne isprepliću, već su međusobno paralelne.

11.115.3 Utjecaj tipa rešetke na svojstva metala

Suština je kristalne rešetke u usmjerenosti građe, a to ima za posljedicu da su i svojstva metala usmjerena (anizotropija). Kad rešetka ne bi bila usmjerena, sve bi se pojave širile po materiji — i u njenim najmanjim dijelovima — u svim smjerovima jednako. Takav slučaj zvali bismo **izotropnim** širenjem, za koje kažemo da nastupa kod amorfnih materija; one egzistiraju bez svog vlastitog oblika. Kod metala postoji kristalizacija, dakle oni pripadaju anizotropnim tvarima, iako se to često ne primjećuje jer se sređenost očituje samo unutar svakog kristalića. Kako je svaki od njih drukčije usmjeren, njihova se djelovanja međusobno kompenziraju, tj. gube prema vani, pa je metal **naizgled** (»quasi«) izotropan. Tu pojavu zovemo »kvaziizotropijom.«

Pojedine su rešetke u različitom stupnju anizotropne. Tako heksagonska rešetka ima veću anizotropnost od kubne (manji stupanj simetričnosti!).

Jedno od glavnih svojstava metala je njegov otpor pomicanju, odnosno odvajanju čestica u slučaju djelovanja vanjskih sila. U području kristala to znači **otpor odvajanju** atoma, a tumači se **kohezijom.** Između dva atoma ona je najveća ondje gdje su oni međusobno najbliži, a to je u ravnini najveće zaposjednutosti. Unutar tih ravnina kohezija je najveća na pravcima najveće zaposjednutosti. U tim pravcima doći će do najmanjih relativnih pomicanja atoma. Ipak će se takve (optimalne) ravnine lakše pomicati međusobno, tj. jedna prema drugoj. Za takva pomicanja utvrđeno je da su mala u smjeru okomitom na ravninu najveće zaposjednutosti, a znatno su veća u skupinama koje su paralelne s tim ravninama. Zbog toga sve one ravnine koje su najgušće zaposjednute atomima zovemo **kliznim ravninama,** a pravce najveće zaposjednutosti nazivamo **kliznim pravcima.**

Na temelju toga može se zaključiti da postoje bitne razlike između pojedinih tipova kristalnih rešetki. Kod plošno centriranog kuba, na primjer, nađene su četiri porodice kliznih ravnina (unakrsnih) i šest porodica kliznih pravaca pa neka vanjska sila može gotovo uvijek naići na neku kliznu zonu koja leži tako pogodno da je moguće izazvati pomicanje. Takvi materijali su, dakle, **rastežljivi** i nisu suviše čvrsti.

Nadalje, kod prostorno centriranog kuba nađena su svega četiri klizna pravca i nekoliko gušće zaposjednutih ravnina u raznim smjerovima. I ovdje će, dakle, biti pogodnih prilika za klizanje, iako nema savršenih kliznih ravnina, no javljat će se nešto veći otpor pomicanju atoma. Takve metale stoga zovemo **otpornima.** Napokon, kod heksagonske rešetke postoji samo jedna porodica kliznih ravnina, dakle samo jedan pogodan smjer klizanja. Vanjska sila će stoga teže naići na »slaba mjesta«, jer je većina kristala nepovoljno orijentirana. Zato se i zovu, kako rekosmo, **kalavima.**

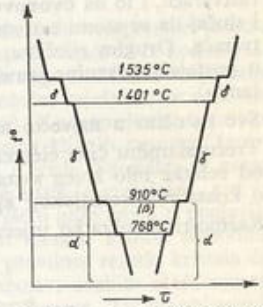
11.115.4 Polimorfija metala

Ima slučajeva da se isti element pojavljuje u više raznih tipova rešetke (poli = više, mnogo), npr. željezo, kobalt, ugljik itd. Tu pojavu stoga zovemo polimorfijom (morfe = oblik). Do toga dovodi različitost vanjskih utjecaja koji nejednako pogoduju kristalizaciji.

Na različitost rešetke praktički djeluje — u pogledu atmosferskog stanja — samo temperatura. Pod njezinim utjecajem rešetka se modificira, dok za sam element kažemo da se prekristalizira. Atomi mijenjaju svoj međusobni raspored, a nova rešetka je spremna da se — u odgovarajućim okolnostima — vrati u prvobitno stanje.

Takve promjene zovemo **alotropskim** promjenama (modifikacijama), a primjer vidimo pri hlađenju rastaljenog željeza na sobnu temperaturu ⑩.

Neposredno nakon skrućivanja taljevine imamo rešetku prostorno centriranog kuba (δ-željezo). Pri 1 401 °C mijenja se ta rešetka u plošno centriranu (γ-željezo), a pri 910 °C opet u prostorno centriranu rešetku (α-željezo).



⑩ Alotropske promjene željeza

Ta potonja faza mogla bi se još zvati magnetičnim β-željezom, i to u području između 910 i 768 °C, ali su metalurzi odustali od toga, pa tu fazu jednostavno spajaju s α-željezom, budući da se strukturno ne razlikuje od nje. Ta pojava nije još do danas potpuno objašnjena. S obzirom na magnetizam primjećuje se da je δ-željezo **paramagnetično** (tj. nemagnetično), dok je ono ispod 768 °C **feromagnetično** (tj. jako magnetično).

Također je zapaženo da se prilikom **grijanja** ne zbivaju spomenute alotropske promjene na jednakim temperaturama kao pri hlađenju, nego nešto više. Razlika između tih temperatura (»toplinskih histereza«) zavisi od brzine grijanja (odnosno hlađenja). Pretpostavlja se da bi pri neizmjerno sporom mijenjanju temperature ta histereza nestala. Također se histereza (tj. odstupanje) javlja pri hlađenju pa se alotropske temperature ne ustaljuju odmah, nego nakon stanovitog pothlađenja. Vidi i ⑫, gdje se to tumači zakašnjelim razvijanjem klica potrebnih za kristalizaciju (točka H).

Spomenute alotropske modifikacije nastale prilikom hlađenja obilježavaju se slovima A_r (r = refroidissement, tj. hlađenje), a one pri grijanju sa A_c (c = chauffement, tj. grijanje).

Značenje polimorfije je ovo: specifičan volumen se mijenja jer dva različita rešetkasta rasporeda ne mogu predstavljati istu gustoću. Dilatometrima se mogu mjeriti iznosi tih promjena.

Neki metali (npr. željezo) dobivaju svoja najbolja mehanička svojstva upravo iskorištavanjem posljedica alotropskih modifikacija. Tu mislimo na šarenilo mogućnosti koje pruža, na primjer, toplinska obrada pri postizavanju određenih svojstava značajnih za strojogradnju.

11.116 Rešetke kod slitina

Tehničkim slitinama smatramo one metale kojima se namjerno dodaju stanoviti elementi koji bitno mijenjaju svojstva metala. Gledajući na to sa stajališta rešetki, treba da razmotrimo tri slučaja međusobnih pojava.

U prvu skupinu idu elementi koji se posve individualno razvijaju, tj. svaki sa svojom rešetkom, nezavisno jedan od drugoga. Takvi kristali se, dakako, po čitavoj masi međusobno miješaju i egzistiraju jedni uz druge. Kažemo da se radi o samostalnim **smiješanim kristalima,** odnosno o **krutoj smjesi** raznovrsnih kristala. Ako, naprotiv, kristali različitih elemenata nisu međusobno izmiješani u prostoru mase, već su **skupinski** razdvojeni u posebna područja te mase, smatramo ih **odvojenim kristalima,** odnosno govorimo o **smjesi sa slojevima raznovrsnih kristala.**

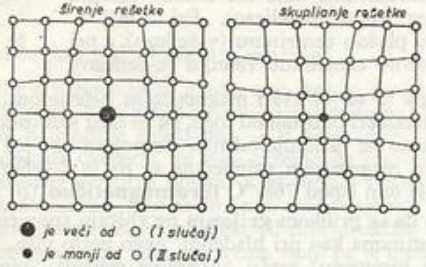
U drugu skupinu spadaju elementi koji udruženo čine zajedničke kristale, ali tako da ostane zadržana rešetka bar jednoga od elemenata. Takav zadržani element dobiva naziv »rastvarača«, za razliku od onog elementa koji se u njemu **rastvara** pa ga smatramo »rastvorenim«. Za takav slučaj kaže se da se radi o kristalima **»mješancima«.**

Normalno nastaje mješanac tako da atomi rastvorenog elementa dolaze na mjesta atoma rastvarača, i to na **čvorove** rešetke rastvarača (»supstitucijski mješanci«). Ima, međutim, i slučaj da se atomi rastvorenog elementa postave na prazna mjesta **između** atoma rastvarača. Drugim riječima, atomi samog rastvarača ostaju u čvorovima svoje rešetke, a u postojeće praznine između njih ulaze atomi rastvorenog elementa (»uključinski mješanci«).

Sve to očito u najvećoj mjeri zavisi od veličine jednih i drugih atoma.

Treću skupinu čine elementi koji tvore zajedničku rešetku, ali posve novu, tj. različitu od rešetke bilo kojeg sastavnog elementa. Tada je riječ o »intermetalnim spojevima« i o kristalima **kemijskog spoja.** To su najzamršenije rešetke.

Razmotrimo ukratko utjecaj veličine atoma!



⑪ Vitoperenje kristalne rešetke kod supstitucijskih mješanaca

Rešetka mješanca (tj. slitine) redovito je nepravilnija od rešetke čistog metala. Od rešetke rastvarača traži se da bude sposobna za stanovito izvitoperenje (»distorziju«), dakako, samo do neke mjere ⑪.

Pokazalo se da je distorzija ograničena sa +15% i sa −13,5% od nominalne veličine rešetke.

Toliko se, dakle, mogu razlikovati veličine atoma kod supstitucijskih mješanaca, odnosno kod uključinskih mješanaca, za toliko mogu atomi rastvorenog elementa biti različiti od slobodnih prostora u rešetki. Kako su te praznine obično znatno manje od samih atoma od kojih je rešetka sastavljena, znači da uključinske mješance mogu stvarati elementi s atomima različitih veličina, dok supstitucijske mješance dobivamo od atoma sličnih veličina.

Treba još naglasiti da mješanci mogu nastati samo do određenog sadržaja drugoga elementa, tj. do onolikog sadržaja koji uzrokuje maksimalno moguću distorziju (izvitoperenje). To znači da će količina rastvorenog elementa biti to manja što su veće razlike u veličini rastvorenog atoma.

Ima, dakako, i drugih uvjeta za stvaranje mješanaca, osim prikladne veličine atoma, npr. valencija odnosnih elemenata, faktor elektronske koncentracije itd., ali ih ovdje nećemo razmatrati.

11.117 Utjecaj tipa rešetke na svojstva slitine

Tip kristalne rešetke ima bitno značenje za svojstva slitina pa ćemo to ukratko razmotriti.

Kad se radi o **smiješanim individualnim kristalima,** karakteristike slitine su negdje između svojstava njezinih sastavnih elemenata jer svaki od njih ispoljava svoje značajke.

U slučaju **mješanaca** nastat će, naprotiv, neka nova svojstva. Dakako, razlike ne moraju biti velike jer je, kako znamo, zadržana rešetka rastvarača (tj. »osnivača«).

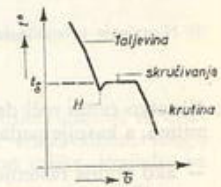
Napokon, kod **intermetalnih** i sličnih **spojeva** pojavljuje se sasvim nova rešetka pa su razlike u svojstvima vrlo velike.

Praktički će se to očitovati npr. pri gnječenju metala budući da vitoperenje rešetke (distorzija) izobličava klizne ravnine i time smanjuje gnječivost. To znači da će kod mješanaca (koji normalno nastaju uz distorziju) gnječivost biti manja nego kod čistih elemenata. Budući da s otporom prema gnječivosti rastu čvrstoća i tvrdoća, mješanac će redovito biti čvršći i tvrđi od kristala rastvarača (kao čistog elementa). Kod **spojeva** su prilike kompliciranije. Rešetke imaju mnogo atoma, pa gotovo i nema kliznih ravnina. Intermetalni spojevi su, dakle, pri normalnoj temperaturi krhki i tvrdi. Smekšati se mogu samo visokim zagrijavanjem. Ako u tim spojevima ima, međutim, i metaloida, oni će zadržati tvrdoću i krhkost čak i pri višim temperaturama. (Više o gnječivosti u poglavlju 11.341.) Pravilnost rešetke utječe i na električnu vodljivost metala. Protok slobodnih elektrona (»struja«) može se najspontanije ostvariti u posve pravilnoj rešetki kristala čistog metala, dok ga svaka nepravilnost sputava. Kemijski spojevi osobito otežavaju taj protok jer se tada elektroni najviše sukobljavaju s titrajućim ionima. To sukobljavanje uzrokuje ugrijavanje vodiča, i to proporcionalno sa samim otporom.

11.12 SKRUĆIVANJE METALA

Kapljevito stanje je posve neustaljeno kristalinično stanje. Neustaljenost je tolika da se rešetke nigdje ne održavaju: atomi sele već uz najmanji impuls izvana. U stacionarnom stanju sistem se podvrgava sili teže, koja nastoji sve atome dovesti u najniži slobodni nivo pa na taj način površina kapljevine dolazi u vodoravno stanje.

Prilikom **skrućivanja** atomi se (odnosno molekule) ustaljuju i nastoje od svoga početka naći neke jezgre (klice) oko kojih će se oni rasporedivati da bi stvorili rešetku. Za to se brinu **privlačne** i **odbojne sile** među atomima, očekujući povoljne uvjete, znači trenutak kad će titranje atoma (tj. amplituda i brzina) toliko oslabiti da te sile mogu svladati njihovu »igru« i nametnuti proces konstruiranja rešetke. Time je seljenje atoma (ili molekula) obustavljeno: oni se ustaljuju praktički povezani u stalnim razmacima. Pri tome se obično smanjuje specifičan volumen (čak za koja 3 % više nego što to odgovara smanjenju međuatomskih razmaka). Uz to se oslobađa stanovita količina »osjetne topline skrućivanja«: atomi su se ustalili i više je kao energiju ne trebaju.



⑫ Krivulja ohlađivanja s petljom »H«

To oslobađanje topline služi nam za otkrivanje **skrutišta** t_s elemenata. Ako, naime, bilježimo temperature skrućivanja (u jednakim vremenskim razmacima) i hlađenje mase prikažemo dijagramski, dobivamo krivulju prema ⑫.

Vidimo da se nakon stanovitog pada temperatura prestaje smanjivati iako se skrućivanoj masi i dalje odvodi toplina. Ta stanka (odnosno »stojište«), nakon histereze H, ne traje dugo, ali ona ipak pokazuje da se u toj fazi radi o oslobađanju osjetne topline, koja ide u prilog povišenju vanjske temperature, zbog čega ona ne pada unatoč hlađenju.

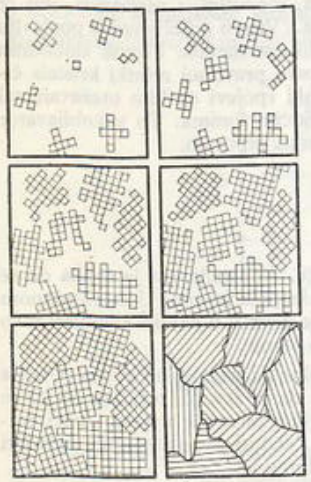
I ovdje se javlja histereza H: stanka nastaje prilikom skrućivanja, i to sa stanovitim zakašnjenjem, jer se i prve klice pojavljuju sa zakašnjenjem, tj. tako da ih tek neki mali pad temperature (točka H) ispred skrutišta prisili, odnosno potakne na akciju. To, dakako, traje samo kratko vrijeme. Ubrzo se oslobođena latentna toplina opet aktivira i uspostavlja temperaturu skrutišta.

⑬ Krivulja zagrijavanja čistog metala

Kristale koji nastaju na početku, tj. iz klica taljevine, zvat ćemo **primarnim** kristalima. Analogna se pojava primjećuje pri grijanju. Taljenje zahtijeva, naime, stanovitu količinu topline kao energiju za razaranje rešetke. Ta toplina ostvaruje, dakle, samo promjenu agregatnog stanja. U tom trenutku onemogućena je svaka druga manifestacija dovođenja topline. Taj **zastoj** zapravo je **talište** t (dijagram ⑬) dotičnog elementa.

Ono se, dakako, podudara s odgovarajućim krutištem. Spomenutu toplinsku energiju potrebnu samo za tu pretvorbu agregatnog stanja zovemo **latentnom toplinom taljenja.**

Treba, međutim, napomenuti da ti dijagrami vrijede samo za čiste elemente, i to pri **vrlo sporom hlađenju** (odnosno grijanju). Ako se ta brzina poveća, nastupit će još neke inercione pojave s histerezom, no u to se ovdje nećemo upuštati.


⑭ Nastajanje kristalita iz taljevine

Vratimo se skrućivanju slitina, koje započinje uz prethodni postanak »klica« kristalizacije (jezgre skrućivanja), već prema tome gdje su te klice zatečene. Rastenjem kristala oko svake klice iščezava sve veći dio taljevine oko njih, pretvarajući se u krutinu. Kristalni agregati na taj način postepeno ispunjavaju sav raspoloživi prostor. No kako su od svoga početka skrućivanja klice bile nehomogeno porazbacane po taljevini, ne može se očekivati sasvim pravilan raspored nastalih kristalnih jedinki. One rastu svaka za sebe sve više pa je neminovno da će prije ili kasnije naići na druge jedinke koje su se razvijale oko svojih klica ⑭.

Tako nastaju skupovi koje zovemo **kristalitima** za razliku od pravilno omeđenih »kristala«. Njihove su granice nastale ondje gdje su se kristalne jedinke sudarile i time uzajamno spriječile daljnje rastenje.

Za početak skrućivanja, pa prema tome i za definitivnu usmjerenost kristalita, odlučujuću ulogu imaju, dakle, **klice.** To mogu biti i bilo kakve nehomogenosti (npr. nečistoće ili primjese u metalu), a ne samo slučajna stanja najveće iscrpljenosti u pogledu energije. U praksi su najdjelotvornije baš strane uključine.

Na proces kristalizacije imaju, prema tome, najveći utjecaj: **brzina pojavljivanja klica** (tj. broj klica nastalih u jedinici vremena) i **brzina rastenja kristala.**

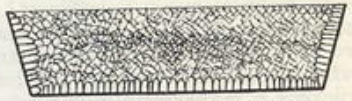
Ukratko ćemo reći da obje ove veličine prilikom hlađenja najprije rastu do nekog maksimuma, a kasnije padaju, no taj pad nema više praktičnog značenja. Važnije je ovo:

— ako brzina rastenja kristala prevladava nad brojem klica, kristaliti će narasti do znatno, većih dimenzija prije nego se počnu uzajamno sprečavati u rastenju; nastaje, dakle struktura krupnijeg zrna;

— ako se, međutim, uspije uspostaviti ravnoteža između broja klica i brzine rastenja, kristalnim će jedinkama ipak poći za rukom da narastu do nešto većih dimenzija prije nego što budu spriječene u rastenju; tako nastaje zrno srednje krupnoće;

— najzad, ako se klice umnožavaju znatno brže, nastat će mnogo kristala koji neminovno ostaju sitni jer se ubrzo međusobno zaustave u rastenju.

Za ilustraciju uzmimo prilikom kokilnog odljeva, izlivenog pri razmjerno visokoj temperaturi ⑮.


⑮ Ohlađeni kokilni odljev

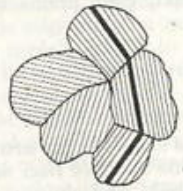
Vanjski sloj hladi se najbrže. Ako je slitina bila ugrijana znatno iznad svog tališta, primarne klice se neće moći brzo razvijati. Ipak će se od djelovanja vanjskih nečistoća pojaviti mnoštvo sekundarnih klica pa se na njih »nakalemljuju« kristali prema unutra, tvoreći tako **štapićaste** kristalite okomite na površinu. Oni mogu rasti samo u tom smjeru; u uzdužnom smjeru, tj. paralelno uz vanjsku plohu, kristalitima se sprečava rastenje. U unutrašnjosti je situacija drukčija. Tamo se brzina pojavljivanja klica smanjuje pa nastaju najprije srednji, a zatim dublje u unutrašnjosti i sitniji kristaliti. Pojava štapićastih kristalita uz površinu nepovoljna je osobito na naglim prijelazima, uglovima odljevaka itd. jer su to područja slabe povezanosti materijala. To može biti povod za pukotine pa se — ne samo u tehnologiji lijevanja već i pri konstruiranju takvih predmeta — redovito propisuju minimalna zaobljenja.

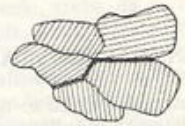
Interesantna je još pojava da brzina rastenja kristalita u različitim smjerovima može biti različita. To znači da odnos brzina pojavljivanja klica i brzine rastenja kristalita u jednom smjeru ima drugu vrijednost nego u drugom. Tada će i kristali rasti usmjereno ma kako bilo hlađenje jednoliko. Na taj način može doći do štapićastih oblika; dapače i do granastih, koje metalografi zovu »dendritima«.

Kako vidimo, brzina ohlađivanja djeluje na krupnoću zrna pa se zato i susrećemo u praksi s različitim ljevačkim postupcima za koje je najznačajnija upravo razlika u brzini ohlađivanja: topli i hladni kalupi, predgrijani, mokri, izolirani, zaštićeni, odebljani kalupi itd.

11.13 PROMJENE NAKON SKRUĆIVANJA

Ne treba misliti, dakako, da nakon skrućivanja nisu moguće nikakve daljnje promjene u strukturi. Naveli smo već da i posve kruta tvar modificira svoju rešetku (primjer: kristali α, γ, δ). Osim toga mijenja se i specifičan volumen materije, a pojavljuju se i toplinski procesi (stojišta).


⑯₁ Lom kristalita po kliznim ravninama

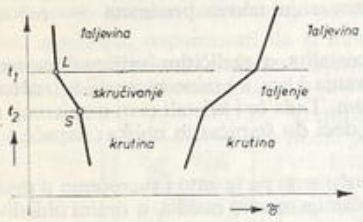

⑯₂ Lom po granicama kristalita

Mijenjaju se i kristaliti — po obliku i veličini. Pod djelovanjem vanjskih sila oni se usitnjuju i usmjeruju. Naprotiv, ako im se povisi temperatura, oni se sraščivanjem mogu opet ukrupniti, te izgubiti usmjerenost. Ako su vanjske sile dovoljno velike, kristaliti se čak lome, i to pretežno po kliznim ravninama ⑯.

Što je pak s granicama kristalita na kojima je obustavljeno rastenje? Na tim se područjima atomi nalaze pod utjecajem privlačnih i odbojnih sila stanovitog susjednog područja. Te sile nemaju jednako pravilno djelovanje kao, na primjer, negdje u unutrašnjosti kristalita, pa i razmještaj atoma u tim graničnim područjima nije toliko pravilan. Stanoviti granični slojevi svakog od tih kristalita koji se dodiruju imaju izvitoperene rešetke, a to znači nepravilan, tj. amorfan raspored atoma, u kojem, dakle, nema ni kliznih ravnina ni kliznih pravaca. To, drugim riječima, znači **smanjenu** mogućnost pomicanja atoma, odnosno praktički manju rastežljivost i veću otpornost materijala. Ujedno to smatramo, dakako, povećanom krhkoćom na granicama kristalita. Metali koji su inače krhki (npr. uslijed nedostatka kliznih ravnina unutar kristalita) ne pokazuju izrazite razlike između unutrašnjosti kristalita i njihovih granica pa kod njih nailazimo na kombinirane pomake i prijelome, tj. **transkristalinične** (poput onih u ⑯$_1$) i **interkristalinične,** tj. po granicama kristalita (⑯$_2$). Time nam se objašnjava spoznaja da su metali **čvršći** ako im je **zrno sitnije,** u tom slučaju ima više granica, tj. više zona s većom otpornosti protiv pomicanja.

Također postaje razumljivo da se pri povišenim temperaturama pomicanje i prekidi ostvaruju sve više po granicama, jer se one najprije rastale, tj. čim se brzine i amplitude titranja dovoljno povećaju.

Budući da prijelom teče pretežno transkristalinično ⑯$_1$, na njemu se ne vide izvorni kristaliti, nego njihovi umanjeni dijelovi, tj. plohe njihovih odlomaka. Samo kod krhkih metala vidimo uz to još mnoštvo stvarnih kristalita. Zato nam prijelom krhkih metala uvijek izgleda krupnijeg zrna nego prijelom gnječivih metala. To, dakle, ne mora značiti da su stvarni kristaliti prije prijeloma bili krupniji.



⑰ Ohladivanje i zagrijavanje slitine

Razmotrimo, na kraju, skrućivanje kod slitina. Ovdje nema stojišta kao kod čistih metala. Promjene agregatnog stanja (pa i modifikacije kristalnih rešetki) ne zbivaju se pri nekoj konstantnoj temperaturi, nego imaju karakter više-manje linearnog opadanja temperature. Na krivuljama hlađenja (odnosno grijanja) ⑰, ne zapažamo neka stojišta, već samo područja **usporenja** dotičnih temperaturnih promjena.

Kako se vidi, egzotermni (i endotermni) procesi oslobađanja (odnosno vezivanja) topline nisu ovdje toliko intenzivni da bi mogli kompenzirati odvođenje (odnosno dovođenje) topline, već takvu pojavu samo usporavaju. Svi sastojci slitine ne djeluju, naime, u istoj mjeri na promjenu temperature. Sav taj proces proteže se na čitav temperaturni pojas od t_1 do t_2 pa se i latentna toplina postepeno oslobađa (odnosno vezuje). Prema tome, kod većine slitina uopće nemamo skrutišta (odnosno tališta) kao jednu temperaturu, već stanovit **interval.** Isto vrijedi i za modifikacije rešetki, gdje, prema tome, nastupaju **modifikacioni intervali.**

11.14 NEPRAVILNOSTI KRISTALNIH REŠETKI

Sve što smo dosad rekli odnosi se uglavnom na idealna stanja. U **stvarnim** kristalitima rjeđe se susreće opisana pravilnost u građi materije. Ona se može naći samo na manjim dijelovima metalnih kristalita. U većini slučajeva praktički nailazimo na nepravilnosti, koje se uglavnom svode na ovo:

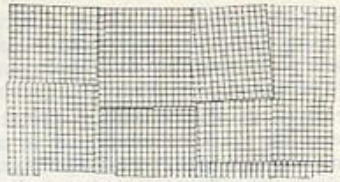
11.141 Praznine

To su mjesta koja nisu zaposjednuta atomima. Taj je slučaj najčešći u površinskoj zoni jer je tamo struktura samo s jedne strane pravilno raspoređena, tj. s unutarnje strane kristalita.

11.142 Mozaična struktura

To je neznatan pomak rešetke u pojedinim dijelovima kristalita (za nekoliko kutnih minuta!) ⑱.

Ta pojava još nije temeljito istražena, no zna se da ona još ne znači diskontinuitet strukture, odnosno nova svojstva metala.


⑱ Mozaična struktura kristalita

11.143 Rubne nepravilnosti

To su pojave bilo na granicama između kristalita, bilo na vanjskim površinama metala, gdje su one često čak vrlo znatne. Ispoljuju se ne samo u praznim mjestima već i u uključivanju kakvog stranog atoma. One nepravilnosti koje su zapažene na granicama kristalita većinom se odrazuju u vitoperenju rešetke, ali i u prazninama.

Postoji još jedna (sekundarna) nepravilnost rešetke, koja nastaje naknadno, tj. tek pri nekom opterećenju materijala, a zapaža se u obliku prisilnih pomaka dijelova kristalita, pa to stoga zovemo **dislokacijama.**

Nepravilnosti su vrlo važne, tj. upravo neophodne da se omoguće stanovite mehaničke operacije (npr. gnječenje materijala).

11.15 RAVNOTEŽA PRI SKRUĆIVANJU METALA

Osvrnimo se na jedan pojam koji se u dinamici mijenjanja agregatnog stanja metala češće spominje. To je pitanje ravnoteže i neravnoteže.

Pretpostavimo da se neka slitina pri određenoj temperaturi i sastavu nalazi u stanju koje toj slitini uz te uvjete najbolje pogoduje pa stoga ona teži da ga trajno zadrži, tj. kao neko **stabilno** stanje. Iz tog stanja može slitinu izbaciti samo neka (dovoljno jaka) izmjena bilo kojeg uvjeta. Dotadašnje stabilno stanje prelazi time u nestabilno, tj. **izvan svoje ravnoteže,** pa će to izazvati promjene, koje će slitinu približiti nekom novom stanju kakvo najbolje odgovara tim novim vanjskim uvjetima. Da bi se to dogodilo, tj. da bi slitina zaista uspjela postići to novo stanje ravnoteže, treba da se ostvari jedan uvjet: slitina mora imati dovoljno **vremena** da bi izvršila do kraja sve nužne promjene koje će je dovesti u (novu) ravnotežu. To vrijeme može biti različito, teoretski između 0 i ∞, no u praksi je to ipak neka konačna veličina. **Idealnu** priliku za uspostavljanje potpune ravnoteže pružalo bi beskonačno dugačko vrijeme pa bismo došli i do »idealne ravnoteže«. Za razliku od toga baratat ćemo **praktički stabilnom** ravnotežom. Ona nastupa kad se raspolaže s »dovoljno« vremena (npr. skrućivanje). Suviše dugotrajni procesi nemaju, dakako, za tehniku praktične vrijednosti, niti se mogu dijagramski pratiti (apscisa = ∞!).

Prema tome, ravnotežu stanja pretpostavljat ćemo samo pri **dovoljno sporom** ohladivanju i takav ćemo proces smatrati **stabilnim.** Naprotiv, pri naglom ohladivanju unaprijed ćemo znati da se radi o **metastabilnom** procesu, kod kojeg ni u jednom trenutku nema posve ustaljene ravnoteže.

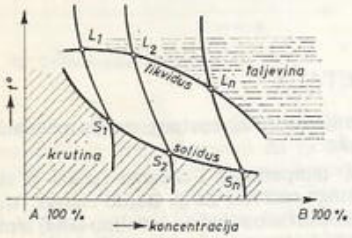
Na kraju obratimo pažnju tabelarnom pregledu svojstava najčešćih metala sa stajališta metalografije (u 11.52 — tabl. 1).

11.16 OPĆI DIJAGRAMI SLIJEVANJA

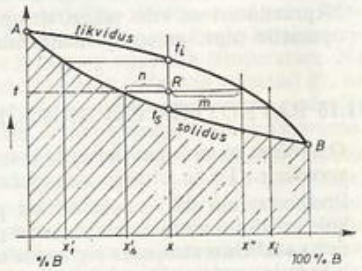
Slitine (legure) nastaju slijevanjem (legiranjem) dvaju ili više elemenata (komponenata). Već prema tome kolik udio (»koncentraciju«) imaju pojedine komponente u čitavom sastavu slitine, dobiva se čitav niz (odnosno sistem) kombinacija. Međutim, osim kemijskog sastava na konačnu kombinaciju slitine djeluje i izbor temperature i njezinog mijenjanja u sveukupnom intervalu između tališta i normalnog atmosferskog stanja.

Prema tome, slijevanje ćemo razmatrati kao sistem različitih varijacija unutrašnjih i vanjskih uvjeta pri promjenama komponenata, koncentracije i temperature. Tamo gdje budu komponente već zadane preostat će nam da pratimo samo **faze** (taljevina — mješavina — krutina), tj. njihove promjene u ovisnosti o temperaturi i koncentraciji.

Najlakše je praćenje **binarnih** (tj. dvokomponentnih) slitina: za apscisu se uzme koncentracija, za ordinatu temperatura. Pri koncentracijama se osvrćemo samo na postotak **manje** zastupanog elementa u čitavoj masi, po težini, u postocima. Jasno nam je da porast jedne komponente znači opadanje druge, tako da u svakoj točki apscise imamo uvijek 100% kao njihov zbroj. Sjetimo se (iz ⑰) promjene slitine pri prijelazu iz tekućeg u kruto agregatno stanje! Srednji dio lijeve krivulje prikazuje interval skrućivanja, koje počinje točkom L, gdje je još sve **tekuće** (»likvidno« — iz latinskog), a završava točkom S, gdje je već sve **kruto** (»solidno« — iz latinskog). Ta lomljena krivulja vrijedila je, dakako, samo za jednu određenu koncentraciju. Pri nekoj drugoj koncentraciji (većoj ili manjoj) dobili bismo sličnu krivulju pa bi ona bila smještena više udesno ili ulijevo, također sa svojom L-točkom i svojom S-točkom. Idući na još veći broj takvih eksperimenata, došli bismo do mnoštva sličnih krivulja. Kad bismo na taj način razmotrili čitavo područje apscise, tj. za sve moguće koncentracije, i spojili sve dobivene točke L, dobili bismo takozvanu **likvidus**-krivulju. Analogno bismo — spajanjem svih S točki — došli do takozvane **solidus**-krivulje ⑲.



⑲ Skrućivanje binarne slitine (općenito)



⑳ Skrućivanje s difuzijom

Vidi se da obje krivulje imaju padajući tok, ali s različitim intenzitetom. Područje između tih krivulja je interval skrućivanja, tj. prikazuje sve veću prisutnost kristala u taljevini što više pada temperatura. To je samo opća slika skrućivanja binarnih slitina.

Razmotrimo karakteristike dijagrama na ⑲. Uzmimo za osnovni element oznaku A, a za primjesu koja raste u smjeru apscise, element B ⑳. Taj dijagram spada u sistem potpune rastvorivosti u rastaljenom i krutom stanju.

Opadanje »likvidus«-krivulje pokazuje da se talište slitine snizuje ako se taljevini povećava koncentracija. Što je, dakle, metal čišći, talište mu je više, i obratno. Metalurzi dokazuju eksperimentima da to potječe uglavnom od prisutnosti atomâ komponente B, koji su pri talištu A još daleko iznad svog vlastitog tališta (kako to vidimo na desnoj strani krivulja), pa još intenzivno titraju, ometajući na taj način atome komponente A u njihovu pokušaju da se ustale i kristaliziraju. To ometanje traje sve dok atomi B ne budu svladani — ohladivanjem do odgovarajuće temperature ispod t_A. Otprije znamo da će, na primjer, za

koncentraciju x% komponente B skrućivanje započeti istom na likvidus-liniji, tj. na temperaturi t_1. Pri tom pothlađenju je titranje atoma B već ukroćeno, a i komponenta A već je toliko pothlađena da kristalizacija počinje bez oklijevanja.

11.161 Skrućivanje s difuzijom

Razmotrimo sastav **prvih** kristala! Oni pretežno sadržavaju atome osnovne komponente A (rastvarač), ali i nekoliko obuzdanih atoma komponente B (rastvoreni element). To su, dakle, već mješanci. Međutim, komponenta B nije u tim kristalima zastupana u onoj mjeri kao u izvornoj talini. Nastaje dojam da se atomi B vrlo nerado primaju u rešetku komponente A, tj. tek toliko da se zadovolji neki minimum te da se nešto oslabi njihova aktivnost, i to ondje gdje su oni ionako već brojčano manje zastupani u čitavoj masi taljevine. U tom području komponenta A najlakše svladava te titrajuće pratioce. Prvi kristali imaju, dakle, minimalnu moguću količinu atoma B, tj. samo toliku koliko se očitava s pripadne solidus-linije za tu temperaturu (vidi apscisu x_1', ⑳). Pri daljnjem ohladivanju zanimat će nas situacija na temperaturi t pri istoj koncentraciji, tj. kod x% komponente B. To je područje tipične mješavine taljevine i kristala mješanaca. Uslijed snižene temperature atomi B su već u velikoj mjeri smireni, no oni još uvijek ne sastavljaju svoju vlastitu rešetku, već sagrađuju kristale zajedno s komponentom A. I opet oni ne nastanjuju rešetku elementa A u onoj mjeri koju bismo očekivali, tj. sa x%, nego mnogo manje, tj. onoliko koliko je najnužnije za tu temperaturu. Veći dio atoma opet izmakne toj »suradnji«, tj. na solidus-liniji imamo kristale znatno siromašnije na useljenim atomima B. **Difuzija** (useljivanje) je, dakle, minimalna. Jasno je da se, s druge strane, sve više obogaćuje preostala taljevina B atomima pa njih ima toliko koliko je to maksimalno moguće za tu temperaturu. To pokazuje apscisa x'', ispod sjecišta temperature t s likvidus-linijom.

Taj slučaj potiče nas na pitanje: koliko ima pri toj temperaturi kristala mješanaca, a koliko taljevine? Metalurzi su prostim geometrijskim razmatranjem ustanovili da na to može odgovoriti princip »vage« (na kraćoj poluzi teži uteg, da bude ravnoteža): odsječak m između točke R i likvidus-krivulje, usporeden s odsječkom n između tačke R i solidus-krivulje, pokazuje omjer sudionika, i to u obrnutom smislu: m u prilog kristala i n u prilog taljevine. U našem slučaju proizlazi da ima oko dva puta više kristala nego taljevine Vidi se odmah da to pravilo vrijedi i pri prijašnjoj temperaturi, ali za istu koncentraciju. Tamo je, naime, bilo m = 0; dakle, u toj tački nije bilo nijednog gotovog kristala.

Analogno možemo zaključivati pri još nižoj temperaturi t_s: n = 0, dakle taljevine uopće više nema — no to je jasno jer smo na solidus-liniji, koja znači potpuno završeno skrućenje za tu koncentraciju x. Ispod te temperature imamo uvijek isto — krutu fazu (iako još uvijek s nekim manjim unutarnjim laganim procesima).

Što se može reći za točku B?

U pogledu sastava ovdje postoji samo još komponenta B; atomi A su iščezli. Taljevina se ne miješa s kristalima, ona ne kristalizira postepeno, već naglo, tj. direktno iz taljine dobijemo krutinu. Nastali kristali imaju točan sastav promatrane koncentracije. To je talište, najniže pri slijevanju tih dviju komponenata.

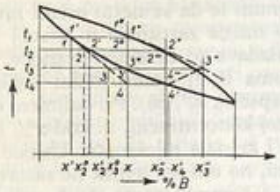
Općenito možemo rekapitulirati da je u tom našem slučaju krutina nastala ustaljivanjem rešetke jedne komponente, s dodatnim useljavanjem u tu rešetku atoma druge komponente. Ponovo se vidi da kod slitina (redovito) nemamo stojišta, već samo usporavanje hlađenja. U kristalizaciji ne sudjeluje čitava masa odjednom, već samo dijelovi slitine, i to tako da najprije preteže jedna komponenta, a zatim dijelovi kod kojih preteže druga komponenta. U ranijoj fazi skrućivanja rešetka osnovnog elementa još je siromašna atomima dodatne komponente, ali to se kasnije nadoknađuje. To se događa pri sniženoj temperaturi koja u stvari tim ranijim kristalima nameće novo stanje ravnoteže. To naknadno dopunjavanje provodi se u obliku **difuzije,** tj. useljavanjem atoma druge komponente. Za tu difuziju treba, dakako, naglasiti da se ona može izvršiti samo ako ima dovoljno vremena. U protivnom slučaju dobivamo samo djelomičnu ili ne dobivamo čak nikakvu difuziju. Difuzija

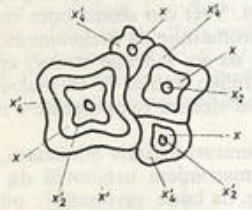
je vrlo važna pojava. Napose se primjenjuje pri kemijsko-toplinskoj obradi, utiskivanjem stranih atoma. Nastala krutina prikazana je šrafiranjem na ⑳.

Prema tom dijagramu kristalizira, na primjer slitina bakra i nikla.

11.162 Skrućivanje bez difuzije

Ako prvonastali kristali nemaju prilike da popune rešetku putem difuzije, oni će ostati na onoj koncentraciji s kojom su bili nastali.





㉑ Postanak dendrita

Prema tome, ukupna krutina koja postoji pri nekoj temperaturi t_2 ㉑ neće, kao u slučaju potpune difuzije, imati prosječnu koncentraciju x_2' nego nešto manju, tj. x_2^0 koja će biti negdje između x_1' i x_2'. Analogno će biti pri nižim temperaturama: umjesto x_3' (slučajno = x) bit će prosječna koncentracija zrna x_3^0 itd. Ako spojimo tačke 1—2—3, dobivamo »prividnu solidus-liniju« (crtkano).

Kako vidimo, kristalizacija završava pri nižim temperaturama nego u slučaju difuzije, tj. ondje gdje prividna solidus-linija siječe izvornu koncentraciju slitine (x), pri temperaturi t_4, gdje se posljednji slojevi kristala razvijaju s koncentracijom x_4'. Prosječna koncentracija slitine x postignuta je jedino time što se manja koncentracija od izvorne x prvonastalih zrna nadoknađuje većom koncentracijom od izvorne x kod posljednjih slojeva zrna.

Tako nastali kristali nisu, dakle, homogeni, već im koncentracija raste prema površini, tj. dobivamo **slojaste dendrite** (donji dio ㉑). Spomenuti viškovi komponente B dolaze iz taljine koja se u ovom slučaju još brže obogaćuje B-atomima (jer se oni ne troše na difuziju).

Obogaćivanje taljevine koncentracijom ne zbiva se sinhrono. Dokle god nastaju slojevi kristala s koncentracijom siromašnijom od izvorne koncentracije x, dotle taljevini koncentracija **raste.** Kad se, naprotiv, počnu javljati slojevi kristala s koncentracijom većom od izvorne x, mora se koncentracija taljevine **smanjivati.** Preokret se, dakle, zbiva pri temperaturi t_3, pri kojoj nastaje upravo sloj kristala s izvornom koncentracijom x (vidi sjecište t_3 s pravom solidus-krivuljom). Prema tome, posljednji ostatak taljevine iz kojeg nastaju završni slojevi kristala, mora neminovno imati koncentraciju x_4' jer koncentraciju posljednje nastalog sloja kristala (površina zrna koja je u dodiru staljevinom) očitavamo na pravoj solidus-krivulji $1'-2'-4'$. Budući da nema difuzije, posljednji sloj ne bi ni mogao imati koncentraciju x_4' kad ne bi nastajao iz taljevine s isto takvom koncentracijom.

U praksi ne nastupa ni slučaj potpune difuzije ni onaj bez ikakve difuzije. Postoje samo primjeri kad se — već prema brzini ohlađivanja — više ili manje približavamo ovom ili onom ekstremu. Lagano hlađenje daje homogenije kristale, a brzo hlađenje heterogenije.

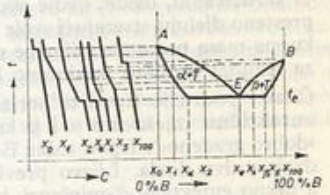
Heterogenost se može ukloniti odgovarajućom »homogenizacijom«, tj. žarenjem metala. Time mu se, naime, omogućuje naknadna difuzija, koja se redovito pospješuje povisivanjem temperature. Za potpunu homogenizaciju treba krutinu grijati do solidus-linije (teoretski). U praksi se to, dakako, ne smije dopustiti jer bi se tada slojevi s koncentracijom x_4' rastalili. Žarenje se stoga provodi samo do neke temperature ispod t_4, iako to još nije potpuna homogenizacija.

Ako se ipak želi što potpunija homogenizacija, treba s jedne strane držati materijal duže vrijeme na temperaturi homogenizacije, a s druge strane homogenizaciju ponoviti više puta. To praktički znači potpunu homogenizaciju bez grijanja do solidus-linije.

11.163 Eutektične slitine

Dosad smo razmatrali dvokomponentne slitine, kod kojih je samo jedna komponenta bila aktivna, stvarajući svoju rešetku. Druga je komponenta bila u neku ruku pasivna, no ipak uvučena u igru sa svrhom da popunjava praznine. Odsad ćemo se baviti slitinama kod kojih će i druga komponenta biti jednako aktivna čim to omoguće uvjeti. Grubo uzevši, dijagrami će se sastavljati od dva dijela u kojima će »inicijativu« imati sad jedna, sad druga komponenta. To će imati za posljedicu da ni lijeva ni desna strana neće ispoljavati svoju likvidus-liniju i solidus-liniju kao potpuno razvijenu, već će obje biti prikraćene, odnosno zaustavljene jedna od druge, tj. zatečene u nekom posebnom stanju.

Prikažimo najprije postanak tih dviju krivulja u dijagramu! Sjetimo se da »stojišta« postoje samo za čiste elemente, u našem slučaju za tačke A i B, tj. za x_0 i x_{100}. Čim se radi o slitini, tj. o kombinaciji komponenata A i B, kristalizacija se provodi uz oslobađanje topline (vidjeli smo to u ⑰), pa dobivamo lomljene krivulje hlađenja. Kad je skrućivanje završeno, krivulje hlađenja dobivaju novi lom (vidi krivulje hlađenja za koncentracije x_0, x_1, x_2 itd. u lijevom dijagramu ㉒). Taj dijagram spada u sistem potpune rastvorivosti u rastaljenom, a nepotpune rastvorljivosti u krutom stanju eutektičkog tipa.

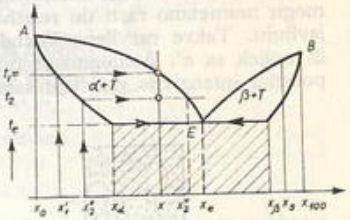


㉒ Skrućivanje eutektične slitine

Ako to znači da smo došli na normalnu solidus-krivulju, kakvu dosad poznajemo (slučaj koncentracije x_1), krivulja hlađenja će naglo padati prema nuli (iako ne sasvim okomito jer u praksi nema munjevitih homogenih ohlađivanja).

To bi ujedno značilo da element A normalno kristalizira, popunjavajući svoju α-rešetku B-atomima, distorzijom, sve dok ona to može izdržati. S obzirom na dimenzije rešetke A i njezinih eventualnih praznina ona ne može dugo primati B-atome — ne može ih rastvarati jer su njezinu vitoperenju također postavljene granice. U jednom trenutku (za apscisu x_α) rešetka će obustaviti svako daljnje primanje atoma B pa dolazi do **modificirane** solidus-linije. To se događa na temperaturi t_e.

Isto se događa s komponentom B, koja (vidi točku B na krajnjoj desnoj strani dijagrama) najprije (tj. za krajnju desnu stranu dijagrama) stvara svoju vlastitu rešetku β, a pri nižim koncentracijama, tj. s porastom sadržaja A, ona počne kao »rastvarač« atoma A popunjavati njima svoju rešetku. I ovdje ide isprva sve bez teškoća. Zatim, pri sve većem doseljavanju rastvorenih A atoma, npr. koncentracije x_s, počinje se rešetka vitoperiti (distorzija) i sve teže primati komponentu A. Najzad i tome dođe kraj pa pri koncentraciji x_β rastvorljivost prestaje. I to se događa na onoj istoj temperaturi koja se poklapa s novonastalom (modificiranom) solidus-horizontalom ㉓.



㉓ Eutektična miješavina kristala

Kako vidimo, kristala α **samih** ne može biti s koncentracijom većom od x_α, niti samih kristala β s koncentracijom manjom od x_β. Na kristalima koji su nastali do tog časa ništa se više ne može izmijeniti u pogledu sastava, mada proces kristalizacije teče dalje (dakle niti dopunjavanjem rešetke difuzijom). Odsad se — na obje strane — pojavljuje smjesa mješanaca jedne i druge vrste (α + β), dakle u koegzistenciji. U tom slučaju, tj. pri koncentraciji kristala negdje **između** x_α i x_β, situacija će biti posve nova. Na početku, dakako, ostaje sve po dosadašnjem: talište je znatno niže nego kod čistih elemenata A i B. Osim toga, pri tim koncentracijama nijedna od komponenata ne može stabilizirati svoju rešetku jer previše smetaju atomi druge komponente (prevelik udio!).

Pri koncentraciji x ipak je u premoći komponenta A. Ako je **dovoljno** pothladimo, ona će zato uspjeti da svlada smetnju atoma B. Prve klice nastalih α-mješanaca imaju, dakako, koncentraciju koja se očitava s njihove solidus-linije, tj. x'_1. Pri daljnjem ohlađivanju kristalizira se sve više α-mješanaca, koji ipak mogu i dalje primati atome B ako je pothladivanje dovoljno. Tako dolazi npr. do mješanaca s koncentracijom x'_2, a na tu istu koncentraciju dolaze i prije nastali kristali (difuzijom), kako smo iznijeli u prethodnom stavku, pa tako čitava dotad skrućena faza ima koncentraciju x'_2, manju od x. Zato, naravno, taljevina postaje utoliko bogatija na komponenti B pa će na toj temperaturi t_2 ona imati koncentraciju $x''_2 > x$. Na taj način napredovanjem kristalizacije taljevini raste sve više koncentracija, i to sve do **granice rastvorivosti** komponente B u osnovi A. Preostatak taljevine stigao je dotle s koncentracijom do vrijednosti x_e. Pri toj koncentraciji (x_e) preostale taljevine atomi B prevladavaju — stvarajući svoju rešetku — smetnju atoma A pa se taljevina kristalizira, razvijajući istodobno i mješance s rešetkom A (α-mješance) i mješance s rešetkom B (β-mješance).

Mješanci α imaju svoju graničnu koncentraciju opet na lijevoj solidus-liniji (x_α), a β-mješanci na desnoj (x_β).

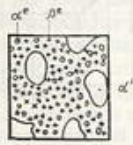
U skrućivanju, dakle, ovdje sudjeluje **sva** preostala taljevina, jer obje komponente nepresteno djeluju stvarajući svoje osnovne rešetke, tj. kao da se radi o čistom metalu. Cjelokupna masa preostale taljevine oslobađa stoga svoju latentnu (osjetnu) toplinu, a to ima za rezultat **stojište** predočeno **horizontalom kroz točku E.**

Čitavo područje ispod te horizontale (vidi šrafiranu površinu u ㉓) obuhvaća tzv. **eutektičnu** mješavinu α i β kristala (eu = dobro, tehtein = graditi, iz grčkog, dakle »dobro građeno«). Ispod točke E imamo (crtkanu) vertikalu koja eutektično područje razdvaja u dva dijela. Lijevo prevladavaju eutektični α-mješanci, koje označujemo sa α^e, a desno eutektični β-mješanci, koji se obično obilježavaju sa β^e. Koncentraciju točke E označujemo sa x_e, a pripadnu temperaturu sa t_e.

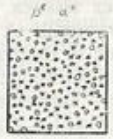
11.164 Utjecaj veličine kristala na svojstva slitine

Za sve dosad spomenute faze kristalizacije važno je naglasiti da predstavljaju kristale vrlo različite veličine. Budući da to ima osnovno značenje za svojstva metala, upozorit ćemo na ono najbitnije.

U početku skrućivanja, u taljevini ima vrlo malo klica (prema čitavoj masi) pa α-mješanci mogu nesmetano rasti do relativno velikih dimenzija ㉔. Nove klice se tek sporo pojavljuju. Takve razvijene kristale zovemo **primarnim mješancima** i obilježavamo ih uvijek sa α′. Analogno se pri velikim koncentracijama (desna strana dijagrama) u početku intenzivno razvijaju samo primarni mješanci β′.



㉓ Primarni α mješanci opkoljeni eutektikumom



㉕ Područje eutektične koncentracije

U drugoj etapi broj klica već dolazi jače do izražaja jer se one brzo množe. No u toj fazi nastaju i α-mješanci i β-mješanci istodobno, pa se u stvari oni međusobno ometaju pri rastenju i tako ostaju nerazvijeni. U tom slučaju struktura pokazuje gustu smjesu sitnih α-mješanaca i β-mješanaca. Takav kristalni sastav vrlo je pogodan za svojstva metala, jer im daje veću čvrstoću. Zato se ta gusta smjesa sitnih α-mješanaca i β-mješanaca zove **autektikum.** ㉔ prikazuje razliku između primarnih (α′) i eutektičnih α, odnosno β-mješanaca (α^e, odnosno β^e), i po veličini i po gustoći.

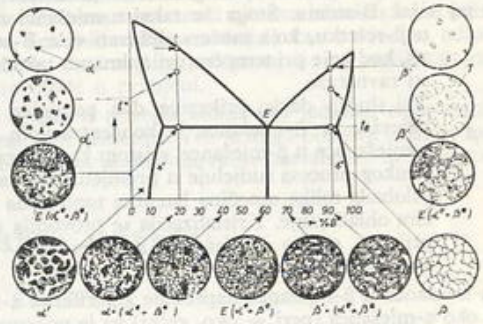
Kako vidimo, najpovoljnija bi bila u tom pogledu eutektična koncentracija slitine x_e ㉕, to prije jer ima **najniže** talište.

Ako se osvrnemo još na koncentracije između x_e i x_β ㉓, vidimo analognu sliku. S obzirom na premoć komponente B nastaju najprije primarni β-kristali, koji asimiliraju veći dio te komponente. Ostala taljevina ostaje, dakle, osiromašena i kad koncentracija primarnih β-mješanaca dopre na granicu rastvorljivosti x_β, preostala taljevina postiže koncentraciju x_e i skrućuje se eutektički jer su atomi A također došli u mogućnost da stvaraju svoju rešetku. Kao rezultat vidimo krupne primarne β-mješance (β′) u gustoj masi sitnih eutektičkih α-mješanaca i β-mješanaca (α^e i β^e) ㉖.

㉖ Primarni β mješanci opkoljeni eutektikumom

11.165 Rastvorljivost ispod eutektične temperature

Za koncentraciju x vidimo da iz teljevine nastaju najprije α-mješanci, koji prilikom ohlađivanja brzo rastu plivajući u taljevini T dok se i ona ne skrutne na temperaturi eutektika t_e. Pri daljnjem ohlađivanju, međutim, mješanci mijenjaju svoju granicu rastvorljivosti. Rešetki se smanjuje mogućnost distorzije jer se uslijed sve nižih temperatura smanjuju parametri (stranice kristalne rešetke). Staviše, mješanci **otpuštaju** čak jedan dio već primljenih B-atoma, koji, međutim, ne postaju pasivni, već stvaraju tzv. **sekundarna** područja. α-mješancima time opada koncentracija. Zbog toga linija s′ pada nešto skošeno ulijevo, tj. suzuje se područje α-mješanaca u korist eutektičnog područja. Analogno je s komponentom B (desna strana dijagrama). Krivulje s′ i s″ su nove linije granica rastvorljivosti, vrlo važne za razne vrste toplinske obrade ㉗.



㉗ Pregled pojedinih stanja skrućivanja

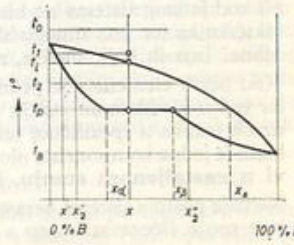
11.166 Rekapitulacija

Na ㉗ imamo konačno sve slučajeve skrućivanja sa shematskim prikazom strukture u pojedinim fazama za poglavlja 11.12 do 11.16.

11.17 PERITEKTIČNA PREKRISTALIZACIJA

Upoznajmo još jedan karakterističan slučaj skrućivanja prema ㉘. Taj dijagram spada u sistem potpune rastvorljivosti u rastaljenom, a nepotpune rastvorljivosti u krutom stanju peritektičkog tipa. Jedan dio takvog dijagrama već nam je poznat. Razmotrimo postanak kristala. Koncentracije manje od x_α i veće od x_k jesu područja potpune rastvorljivosti.

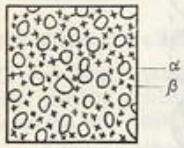
Novost nastupa pri koncentracijama između x_α i x_β — s obzirom na donji dio dijagrama. Pri ohla-



㉘ Peritektična prekristalizacija

divanju do t_1 je slitina rastaljena jer atomi β smetaju atomima A pri ustaljivanju α-rešetke. Za komponentu A predstavlja t_1 toliko pothlađenje da ona svladava smetnju B-atoma i ustaljuje svoju rešetku na mjestima gdje ima najmanje B-atoma, primajući ih u svoju rešetku. Time nastaju α-mješanci s koncentracijom x'. Daljnjim ohlađivanjem nastaje sve više tih mješanaca, sa sve većom koncentracijom, no uvijek **manjom** od izvorne koncentracije x, pa preostatku taljevine raste koncentracija preko vrijednosti x. Tako će, na primjer, pri temperaturi t_2 čitava krutina imati koncentraciju x'_2, a taljevina koncentraciju x''_2. I ovdje se u međuvremenu prije nastali kristali dopunjuju pomoću difuzije na onu koncentraciju koja znači ravnotežu za dotičnu temperaturu. Pri stanovitoj temperaturi t_p imamo α-mješance s koncentracijom x_α. Međutim, ovdje je taljevina došla sa svojom koncentracijom u područje gdje je utjecaj B-atoma već vrlo velik, a α-mješanci su došli do granice svoje rastvorljivosti. Taljevina je bogata B-atomima (koncentracija x_k) pa ne može više razvijati α-mješance, koji se po koncentraciji x_α suviše razlikuju od taljevine. Stoga se skrućivanje nastavlja razvijanjem kristala s rešetkom elementa B (β-mješanci), premda još nije dosegnuto skrutište komponente B. Ti prvi mješanci imaju koncentraciju x_β.

Mješanci β nastaju iz taljevine kao nove klice, ali još više kao novi slojevi oko prvotno nastalih α-mješanaca. Difuzioni proces, koji nastupa svagdje gdje postoji razlika u koncentracijama, mora se (uz lagano hlađenje) i dalje nastaviti pa će se taj proces zbivati i u ovom slučaju paralelno s kristalizacijom novih slojeva β-mješanaca. Difuzija će se obavljati između vanjskog β-sloja (bogatijeg B-atomima) i unutrašnje α-jezgre, a jednako i između još bogatije taljevine i β-sloja. Proces difuzije, dakle, napreduje od taljevine kroz β-sloj u α-jezgru. Kako su ti α-mješanci na granici svoje rastvorljivosti, oni ne mogu u α-obliku primiti taj višak B-atoma. Stoga se takvi α-mješanci moraju prekristalizirati u β-rešetku, koja može sadržavati više B-atoma, tj. koncentraciju x_β, kod koje pri temperaturi t_p imamo također jednu od mogućnosti ravnoteže.



㉗ Peritektična struktura

Taj slučaj, dakle, prikazuje dva paralelna procesa: kristalizaciju taljevine u β-mješance s koncentracijom x_β i prekristalizaciju α-mješanaca u β-mješance s istom koncentracijom. Zbog tog dvostrukog procesa sudjeluje u promjenama čitava masa slitine pa se oslobađa tolika množina latentne topline da ona upravo kompenzira ohlađivanje. Kristalizacija se provodila u dvije etape ㉘. Najprije je nastao α-mješanac, a zatim se — uz stojište — razvio β-mješanac ㉘, ㉙.

Prekristalizacija α-mješanca u β-mješanac napreduje s periferije α-mješanca. Znači da se β-mješanac gradi oko α-mješanca (peri = oko, grčki) pa je početna koncentracija β-mješanca (x_β) nazvana **peritektičkom** koncentracijom, a temperatura kod koje se zbiva taj dvostruki proces smatra se **peritektičkom temperaturom.**

Praktički primjeri za tu vrst kristalizacije jesu: platina, srebro, δ-željezo, β-kobalt, nikal itd.

11.18 OSTALI SISTEMI SLIJEVANJA

Ni kod jednog sistema ne bismo smjeli suviše kruto shvatiti pitanje odnosa atomskih karakteristika jer ima mnogo slučajeva koji se ne poklapaju s općim dosadašnjim zapažanjima. Ima ih koji, štaviše, ni danas još nisu objašnjeni.

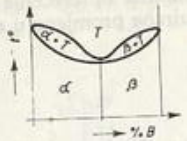
Kod nekih elemenata je primijećeno da im se karakteristike međusobno toliko razlikuju da već u rastaljenom stanju pokazuju veću ili manju nerastvorljivost. Najčešće je tome uzrok razlika u specifičnoj težini, kao što su, na primjer, kod mnogih sistema slitine kod kojih je jedna komponenta olovo. Za takve sisteme kažemo da su **djelomično rastvorljivi u rastaljenom stanju.** Pobliže ih nećemo razmatrati.

Nadalje postoje sistemi nerastvorljivosti u **krutini** s raznim slučajevima. Tako rastvorljivost može iščezavati samo s jedne strane dijagrama.

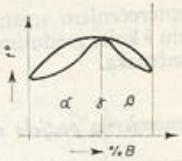
Može također nastupiti slučaj pravilne potpune rastvorljivosti.

Karakteristični su još primjeri kad se likvidus-krivulja i solidus-krivulja dotiču — bilo u minimumu ㉚ bilo u maksimumu ㉛.

O svemu tome vidi pobliže u literaturi pod 1.



㉚ Nerastvorljivost eutektikuma pri minimalnoj temperaturi



㉛ Nerastvorljivost eutektikuma pri maksimalnoj temperaturi

11.19 ZNAČENJE METALOGRAFIJE ZA RAZVOJ NAUKE O METALIMA

Poznavanje strukture metala postaje sve neophodnije jer pruža sve bolji uvid u velike mogućnosti iskorištenja materije. Mada izgledi za praktičnu afirmaciju najnovijih spoznaja imaju još laboratorijski karakter, može se reći da tehnika unapređivanja strukture otkriva ogromne unutrašnje rezerve materije i bez zahvaćanja u unutrašnjost atoma. Razvoj još nije, doduše, doveo do većih demonstracija, no ono što je zapaženo upozorava da iskoristivost materije za tehničara-konstruktora predstavlja upravo unutrašnje ustrojstvo. Ne može se poreći da kemizam tvari znači njezinu ishodnu karakteristiku. Ipak, bilo bi kobno oslanjati se na kemijski sastav materijala kao na jedino odlučujući faktor. Ista kemijska struktura može — u raznim prilikama, tj. pri različitom rasporedu atoma — dati posve različite rezultate u primjeni.

Metalografija se ne upušta u prirodu atoma kao jedinke, nego samo promatra njihov razmještaj, međusobne veze i smetnje. Već je dugo poznata važnost toplinske obrade kao očitog primjera djelovanja na unutrašnji režim metala, no to je samo jedan od mnogih.

11.2 NEKA SVOJSTVA METALA

11.21 MEHANIČKA SVOJSTVA

11.211 Čvrstoća metala

11.211.1 Čvrstoća pri mirnom opterećenju

11.211.11 *Pojmovi*

Čvrstoća je otpor materijala protiv deformacije i protiv loma. Sigurnost od izobličenja i od loma osnovni su zahtjevi svake konstrukcije. Da bi se ta sigurnost postigla, dovoljno je dimenzionirati sastavne dijelove tako da još mogu trajno odoljeti maksimalnim naprezanjima, s obzirom na dotičnu vrstu opterećenja (vlak, tlak, savijanje, torzija itd.). Ako se zahtijeva i stalnost oblika, naprezanja ne smiju prekoračiti granicu razvlačenja dotičnog materijala. Često se traži i ograničenost elastične deformacije, osobito ako predmet mora održati točnu mjeru (npr. u gradnji alatnih strojeva) ili ako se moraju onemogućiti pojave nestabilnosti (npr. ekscentricitet pri izvijanju dugačkih štapova; vitoperenje tankih stijenki posuda).

Čvrstoća metala može se mijenjati na različite načine, i to:

— legiranjem; dodavanjem C, Ni, Cr, Mn, Si, Mo, V, W itd. znatno povisujemo čvrstoću čelika (vidi poglavlje 11.335); slično vrijedi za bakar i aluminij (vidi opis njihovih legura);

– žilavim metalima čvrstoća se povisuje pomoću gnječenja (izvlačenje žica, valjanje limova) čak do dvostrukih i trostrukih iznosa;
– napokon, slično djelovanje ima i **toplinska obrada.**

»Mirnim« opterećenjem smatrat ćemo ne samo konstantna opterećenja već i ona koja rastu i padaju i koja, međutim, izazivaju samo kontinuirane promjene u naprezanju konstantnog predznaka.

11.211.12 *Ravnomjerna podjela naprezanja*

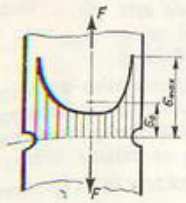
Ako je osigurana ravnomjerna podjela naprezanja, onda pod jednosmjernim opterećenjima čvrstoća ne ovisi ni o obliku, niti o veličini presjeka. Primjer: kombinirano opterećenje prizmatičnog, okruglog itd. štapa od homogenog (tj. čistog) čelika. To je, dakle, idealan slučaj.

11.211.13 *Neravnomjerna podjela naprezanja*

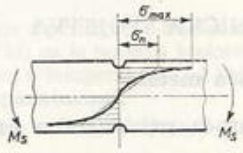
To je najčešći slučaj u strojarstvu. Čvrstoća se ovdje mijenja s oblikom i veličinom presjeka, tj. pada kako raste presjek. Tako je, na primjer, kod savijenog štapa naprezanje maksimalno u krajnjim vanjskim slojevima pa su to kritična područja za dotični metal. Prema unutrašnjosti naprezanja padaju sve do neutralne linije. Taj pad je to nagliji što je štap tanji pa je tada njegova granica razvlačenja, odnosno čvrstoća viša nego pri debljim presjecima.

11.211.14 *Utorna naprezanja pri mirnim opterećenjima*

Kod zarezanih predmeta je nejednolikost u raspodjeli naprezanja još veća. Na ① vidimo radijalni raspored naprezanja pri vlačnom opterećenju štapa s kružnim utorom, dok ② istodobno pokazuje radijalni raspored u slučaju savijanja, tj. na vanjskoj strani štapa **vlačna,** a na unutarnjoj strani **tlačna** naprezanja.



① Tlačna naprezanja u zarezanom štapu



② Savojna naprezanja u zarezanom štapu

Za krivulje naprezanja u tim slikama mogli bismo naći neka prosječna (srednja) naprezanja σ_n (zvana nazivnim naprezanjima), no maksimalna ih naprezanja, tj. ona uz samo dno utora, znatno prekoračuju ($\sigma_{max} \gg \sigma_n$).
Matematički to izražavamo relacijom

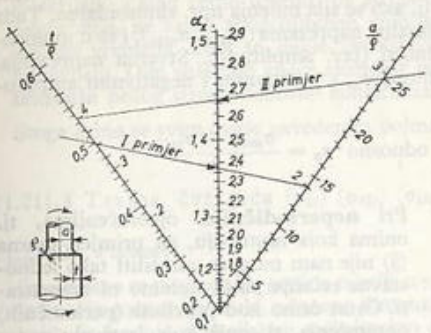
$$\sigma_{max} = \alpha_k \cdot \sigma_n \quad \text{odnosno} \quad \alpha_k = \sigma_{max}/\sigma_n$$

»Faktor oblika« α_k ne zavisi od materijala, već od vanjskog oblika predmeta i od vrste opterećenja. Njegova vrijednost raste razmjerno s oštrinom utora, tj. s omjerom $1/\rho$, i dubinom. Kod rotosimetričnih tijela (osovine, valjci itd.) α_k je najveći za vlačna i tlačna naprezanja, nešto manji pri savijanju i još manji pri torziji. Za reducirane osovine, opterećene na savijanje, možemo α_k nomogramski proračunati iz ③.

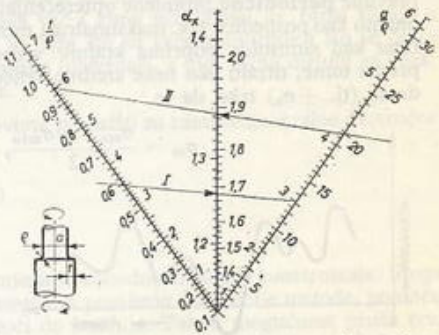
Primjeri: $\begin{cases} t/\rho = 0{,}5 & a/\rho = 2, \text{ izlazi } \alpha_k = 1{,}37 \\ t/\rho = 4 & a/\rho = 25 \text{ izlazi } \alpha_k = 2{,}67 \end{cases}$

Napomena: Očitavati treba uvijek s iste strane pravca (samo s lijeve ili samo s desne). Analogno tome mogu se vrijednosti za α_k pri torziji očitavati iz ④.

Primjeri: $\begin{cases} t/\rho = 0{,}6 & a/\rho = 3 \quad \text{izlazi } \alpha_k = 1{,}26 \\ t/\rho = 6, & a/\rho = 20, \text{ izlazi } \alpha_k = 1{,}88 \end{cases}$



③ Faktor oblika pri savijanju reduciranih osovina



④ Faktor oblika pri torziji reduciranih osovina

Naglasimo još da α_k konkretno vrijedi samo za elastično područje nomogramskog pravca.
U navedenim slučajevima naprezanja naglo padaju ne samo u presjeku dna utora nego i u neposrednoj okolini, napose na bokovima zareza, a to su mjesta gdje i nema nikakva vanjskog opterećenja. Štaviše, ti bokovi pružaju u određenim okolnostima, u presjeku utora, snažan **otpor deformiranju** tako da »tečenje« materijala (kod žilavih metala) nastupa tek pri višim naprezanjima, i to usko lokalizirano. Zbog tog otpora imamo pojavu da, na primjer, štap od **žilavog materijala,** s kružnim utorom, izdrži **veća** vlačna opterećenja od glatkog štapa istog presjeka! Razlog: na dnu utora štap zadržava nesmanjen, presjek, dok kod glatkog štapa dolazi do jake kontrakcije (suženja presjeka) pa to ubrzava lom. Osim toga, kod glatkog štapa ne mogu se ostvariti vršci naprezanja za dotičnu čvrstoću jer faktor oblika vrijedi samo za elastično područje. Pri znatnijim plastičnim deformacijama, koje na žilavim materijalima redovito prethode lomu, spomenuti vršci napetosti postepeno jenjavaju, pa se napokon ustaljuje gotovo posve izjednačena ravnomjerna raspodjela naprezanja. To znači da je zaista moguć porast čvrstoće pri jednosmjernim opterećenjima, prisutnošću utora, ako se radi o žilavim materijalima.
Kod **krtih** materijala, naprotiv, utor uvijek smanjuje nazivnu čvrstoću u svom okolišu. Nejednolikost u raspodjeli naprezanja ne može se tom slučaju znatnije ublažiti. Utor, dakle, povećava opasnost od loma. Slične posljedice redovito se javljaju i na račun nehomogenosti strukture, budući da, na primjer, grafitni listići unutar lijevanog željeza čine tzv. unutarnje utore, koji uvelike smanjuju njegovu čvrstoću.
Napokon imamo slučaj da utori i kod žilavih i kod krtih materijala pospješuju lom. To se događa pri **udarnim** (tj. naglim) opterećenjima. Tu se, naime, ne prenosi na štap samo sila već i **radnja,** kojoj se mora u trenutku udarca oduprijeti volumen materijala u napadnutom presjeku, smanjen uslijed utora pa je mogućnost loma potencirana. I tzv. nasilni lomovi nastaju u većini slučajeva samo od udarnih preopterećenja (npr. pri nesreći). U tom slučaju posebno se ističe činjenica da žilavi materijali imaju ogromnu prednost pred krtim, i to uglavnom uslijed pojave plastične doformacije koja za svoje stvaranje iskorištava (»apsorbira«) znatne količine nametnute mehaničke radnje i time, poput jastuka, presreće, odnosno prigušuje njezino razorno djelovanje.

11.211.2 Čvrstoća pri izmjenljivu (titrajnom) opterećenju

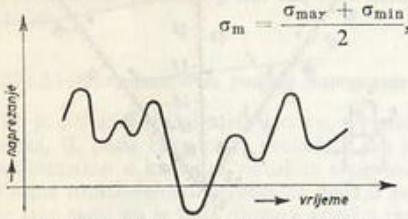
11.211.21 *Pojam*

Pod izmjenljivim opterećenjem razumijevamo uzastopno nastupanje vanjskih sila promjenjive veličine ili predznaka.

U tom slučaju opasnost od prekida materijala zavisi ne samo od iznosa sile već i od učestalosti njezina nastupa (frekvencije).

Razumljivo je da se vrijednost čvrstoće ovdje može strogo definirati samo u slučaju neke pravilne **periodične** promjene opterećenja, tj. ako se sila mijenja npr. sinusoidalno. Tada imamo kao posljedicu tzv. maksimalna i minimalna naprezanja (σ_{max}, σ_{min}), i to u momentima kad sinusoida poprima krajnje vrijednosti (tzv. amplitude). Stvarna naprezanja, prema tome, titraju oko neke srednje vrijednosti σ_m s pozitivnim i negativnim amplitudama (tj. $\pm\sigma_a$) tako da je

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}, \quad \text{odnosno} \quad \sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$



⑤ Neperiodično izmjenljivo opterećenje

Pri **neperiodičnim** opterećenjima, tj. onima koja nastupaju, na primjer, prema ⑤ nije nam moguće zamisliti tako jednostavne relacije pa ih nećemo ni razmatrati. Ostat ćemo kod pravilnih (periodičnih) opterećenja, tj. onih koja izazivaju samo sinusoidna naprezanja.

11.211.22 *Vrste izmjenljivog naprezanja* ⑥

Ako isključimo neperiodičke pojave prema ⑤, ostaju nam za razmatranje slijedeći slučajevi:

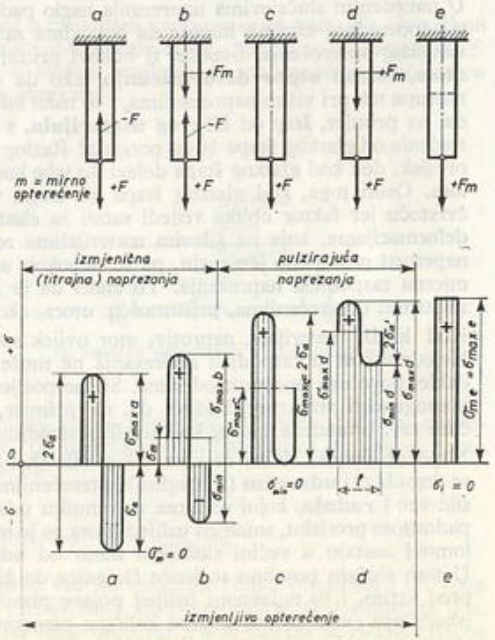
— **Čista izmjenična naprezanja** ⑥a s jednakim udjelom pozitivnih i negativnih vrijednosti. Takva naprezanja, dakle, osciliraju oko »nulte« srednje vrijednosti ($\sigma_m = 0$).

Primjer: slobodno titranje rastrećene neopterećene bestežinske opruge.

— **Nečisto izmjenično naprezanje** ⑥b s nejednakim udjelom pozitivnih i negativnih naprezanja. Prema tome je i srednja vrijednost različita od nule ($\sigma_m \gtrless 0$).

Primjer: opruga s prednaponom (±). (U našem slučaju $\sigma_m > 0$).

— **Čisto pulzirajuće naprezanje** ⑥c s vrijednostima općenito samo »plus« ili »nula«. Takvo titranje je za materijal znatno povoljnije jer varira između nule i neke maksimalne vrijednosti, uvijek istog predznaka: $\sigma_{min} = 0, \sigma_m = \sigma_a$ (amplituda).



⑥ Izmjenljiva naprezanja

Primjer: titranje bestežinske opruge koju opterećuje i rasterećuje gibanje nekog ekscentra.

— **Nečisto pulzirajuće naprezanje** ⑥d s vrijednostima uvijek iznad nule. $\sigma_{min} > 0$, $\sigma_m > \sigma_a$.

Primjer: titranje opruge s prednaponom preko ekscentra koji oprugu ne rastrećuje od prednapona. To praktički vrijedi i za titranje svake »teške« opruge.

Sva su titrajna naprezanja od osnovne važnosti za razmatranje tzv. »**trajne**« **čvrstoće** materijala. Zasad ćemo utvrditi da su za opasnost od loma najmjerodavnija izmjenična naprezanja, ne samo zbog njihovih amplituda već i zbog učestalosti, tj. broja titraja u jedinici vremena. Lom se, dakle, približava to brže što su veće amplitude i što se češće ponavljaju. One suštinski znače elemente **umora** materijala, a ovaj bitno djeluje na vijek **trajanja** nekog stroja, odnosno konstrukcije.

Stoga ćemo se svim ovdje navedenim pojmovima poslužiti za tumačenje »trajne čvrstoće«

11.211.3 Trajna čvrstoća (σ_D) (σ_{sD}) (σ_{tD})

11.211.31 *Pojmovi*

Strojarstvo se posljednjih godina razvija u smjeru brzohodnosti i lakih konstrukcija. Stoga je i način proračunavanja, odnosno dimenzioniranja poprimio razvijenije metode, pomoću kojih će štednja materijalom maksimalno doći do izražaja. Takvu mogućnost pruža tzv. proračun s obzirom na vijek trajanja, koji uzima u obzir sve utjecaje koji u praksi umanjuju čvrstoću, pa i veličinu predmeta, raznovrsnu površinsku hrapavost, temperaturu (bilo visoku, bilo nisku), djelovanje utora, trenje, stezne dosjede i trošenje (habanje).

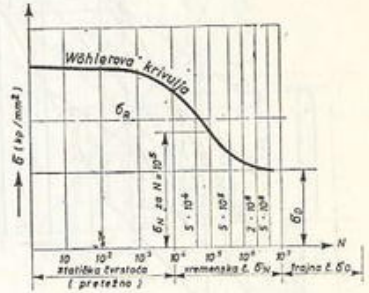
Novije spoznaje o materijalima, napose o svojstvu umorljivosti, navele su na proračunavanje otpornosti prema **umoru,** tj. **statičke trajnosti** i **dinamičke izdržljivosti** (σ_D).

Suština tog proračuna je u traženju **onog najvišeg naprezanja koje materijal može izdržati neograničeno dugo.** Pri statičkom opterećenju govorimo tada obično o stalnom, a pri dinamičkom opterećenju o izmjenljivim, tj. (u većini slučajeva) o titrajnim naprezanjima, kako smo ih definirali u prethodnom stavku.

Trajnom čvrstoćom smatramo onu najveću amplitudu titrajnog naprezanja oko neke srednje vrijednosti σ_m koja može nastupiti bezbroj puta, tj. neograničeno dugo, a da se pokusni uzorak ne prekine. Ona je znatno niža od čvrstoće u slučaju kontinuiranog jednosmjernog opterećenja.

Od trajne treba razlikovati **vremensku čvrstoću,** kojom se označuje izdržavanje materijala samo na određeno vrijeme ili, bolje rečeno, za određeni broj titraja (npr. 100 000) bez puknuća.

Obje ove čvrstoće određuju se pokusima, opterećivanjem jednakih pokusnih uzoraka s titrajnim opterećenjima različitih amplituda i učestalosti, sve dok se ne pojavi lom. Podaci se unose u dijagram pa se dobije tzv. Wöhlerova [Veler] krivulja ⑦, iz koje se vidi pad vremenske čvrstoće u ovisnosti o broju titraja.



⑦ *Wöhlerova* krivulja naprezanja

Budući da se trajna čvrstoća odnosi na neizmjerno visok broj titraja, razumljivo je da je njezina numerička vrijednost ujedno asimptota za vremensku čvrstoću.

Nadalje treba upozoriti na pojam one izmjenične čvrstoće koja se odnosi isključivo na titrajna opterećenja pa se stoga češće naziva **dinamičnom čvrstoćom** (indeks D).

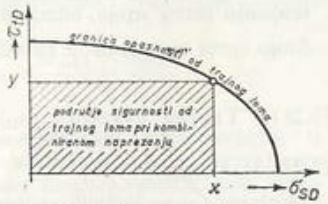
11.211.32 *Način opterećenja*

Za trajnu čvrstoću važno je da li su naprezanja po promatranom presjeku raspoređena ravnomjerno, tj. jesu li svi djelići materijala jednako opterećeni. Pri izmjeničnim opterećenjima je za jednake titrajne amplitude opasnost od loma toliko manja koliko **strmije** pada naprezanje od svog maksimuma na niže vrijednosti. Zato je, na primjer, **čvrstoća savijanja** s linearnim padom naprezanja prema neutralnoj zoni nešto veća od titrajne čvrstoće za vlačna i tlačna opterećenja, gdje je pad naprezanja jednak nuli.

Čvrstoća na torziju, za koju su karakteristična smična naprezanja, manja je od dinamične čvrstoće na vlak-tlak. Za čelike koji se pokoravaju Hookovu (Huk) zakonu može se uzeti da dinamička čvrstoća torzije iznosi oko 58% od dinamičke čvrstoće savijanja.

Za **kombinirana opterećenja** vrijedi pravilo da se amplitude parcijalnih naprezanja ne zbrajaju aritmetički, već se međusobno reduciraju (npr. savijanje + torzija), osobito kod žilavih materijala, pa nastaje **eliptična rezultanta** ⑧ s koje se očitavaju zbirne vrijednosti naprezanja.

Za veliku os uzeta je dinamička čvrstoća savijanja, a za malu os dinamička čvrstoća torzije. Dobivena elipsa je, dakle, granica (za opasnost od trajnog loma) u kojoj je osigurana trajna čvrstoća kod žilavih metala.

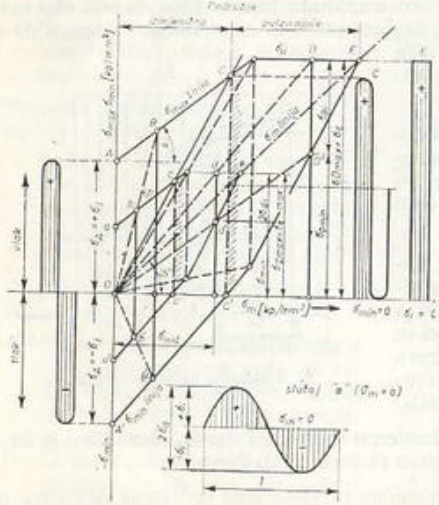


⑧ Međuovisnost dopuštenog naprezanja σ i τ

Primjer iz ⑧: za postojeće dinamičko naprezanje savijanja $\sigma_{sD} = x$ smijemo imati kao dinamičko naprezanje torzije najviši iznos $\tau_{tD} = y$.

11.211.33 *Smithov [Smit] dijagram*

Trajnu čvrstoću definiraju **granična** naprezanja. Grafički se to može pratiti tzv. Smithovim dijagramom ⑨, koji može služiti za proračunavanje čvrstoće određenog materijala.


⑨ Smithov dijagram (konstrukcija)

Za apscisu uzimamo vrijednosti σ_m, a za ordinatu amplitude titrajnih naprezanja. Bazirat ćemo to na ovim relacijama:

$$\sigma_{min} = \frac{F_{st}}{A} \quad \text{pri mirnom, odnosno}$$

$$\frac{F_{st} \pm F_{din}}{A} \quad \text{pri dinamičkom opterećenju.}$$

Nadalje uzmimo:

$$\sigma_{max} = \sigma_{min} + 2\sigma_a$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

To su sve proračunska naprezanja, razmjerno daleko ispod krajnje dopuštenih (graničnih), pa ih zovemo samo »nazivnim« naprezanjima time da vlačna nanosimo prema gore, a tlačna prema dolje. Služimo se sa ⑥!

Nacrtajmo Smithov dijagram najprije za **nazivna** naprezanja, i to za prije spomenute slučajeve iz ⑥. Apscisa neka je σ_m, a ordinata neka je pun iznos naprezanja.

Najprije uzmimo slučaj a, gdje je $\sigma_m = 0$, da bismo mogli poći od ishodišta! Gornja i donja amplituda daju nam točke a i a′ na samoj ordinati. Nastavimo sa b, gdje je apscisa $\sigma_{m,b}$, a ordinata $\sigma_a + \sigma_{m,b}$ (prema gore), tj. do točke b, a prema dolje nanosimo σ_{min} da dobijemo b′. Analogno je u slučaju c, s tom razlikom što je ovdje $\sigma_m = \sigma_a$, dok je $\sigma_{min} = 0$, pa idemo samo prema gore, tj. iz c′, nanoseći $\sigma_{max} = 2\sigma_a$, čime dobivamo točku c. Takva konstrukcija vrijedila bi i za bilo koji drugi slučaj između a i c, pa bismo za svako σ_{max} u tom području dobili odgovarajuću točku koja bi se očito nalazila na pravcu a–c.

Možemo stoga taj pravac i produžiti desno gore, tj. izvan točke c. Međutim, u našim slučajevima d i e vrijednosti σ_{max} povećavaju se na $\sigma_{max\,d} = \sigma_{max\,e} C > \sigma_{max\,c}$ uz smanjenje amplitude na σ_a'*. Obje su veličine σ_{max} tada jednake i za slučaj d i za slučaj e, pa moramo očekivati horizontalan pravac kao njihovu vezu. Za apscisu $\sigma_{m\,d}$ imamo, dakle, ordinatu $\sigma_{max\,d} = \sigma_{min} + 2\sigma_a$. Ako od dobivene točke d odbijemo $2\sigma_a$ imat ćemo točku d′. Konačno, za slučaj e imamo $\sigma_{max} = \sigma_m$, dakle nema odbijanja jer se radi o čistoj statičkoj sili. Analitički to znači da ta »dvostruka« točka (e = e′) mora biti na simetrali prvog kvadranta koja pod kutom od 45° prolazi ishodištem.

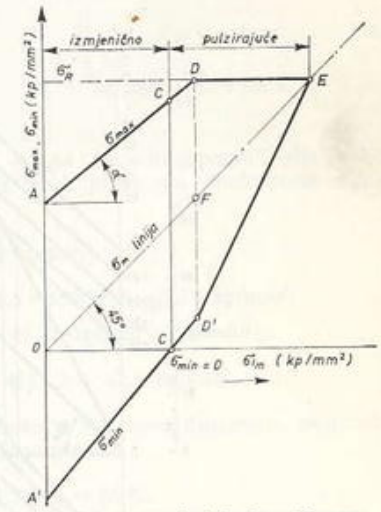
Time smo obuhvatili sve navedene slučajeve. Povezivanjem točaka a–b–c–d–e dobivamo tzv. crtu gornjih naprezanja, dok crta a′–b′–c′–d′–e prikazuje donja naprezanja.

Kako smo istakli, tu je bilo govora samo o nazivnim naprezanjima koja podnosi neki dio konstrukcije, tj. u dopuštenom području. Iz toga se, međutim, još ne vidi dokle bi se materijal dotičnog dijela mogao maksimalno iskoristiti. Bit će, dakle, korisno da taj dijagram proširimo do krajnjih (graničnih) naprezanja koje bi materijal još podnio bez prekida, tj. do trajne čvrstoće.

Ucrtajmo, dakle, crte trajne čvrstoće pa ćemo vidjeti do koje mjere je teoretski moguće iskoristiti stanovit materijal pri određenom tipu opterećenja. Nove podatke označujmo velikim slovima. Podimo od istog dijagrama, tj. od istog ishodišta, baratajući povećanim, tj. granično dopuštenim naprezanjima.

Nađimo (geometrijski) najprije točku E. Ona će biti na produžetku crte 0-e, s ordinatom koja znači maksimalno statičko naprezanje, dakle na simetrali I kvadranta. Na horizontali kroz E dobivamo točku D (na produžetku pravca 0–d). Isto vrijedi za sve druge točke, pridružene onima iz prethodnog dijagrama (C, C′, B, B′, A, A′). Napomenimo da crta E–D znači granicu razvlačenja σ_R!

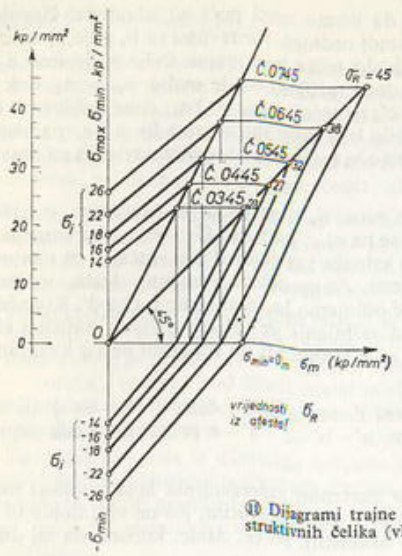
U praksi se primjenjuje i pojednostavnjen Smithov dijagram prema ⑩, koji se također sastoji od četiri konturne crte, s ovom konstrukcijom:



⑩ Pojednostavnjeni Smithov dijagram

Iz točke A povuče se udesno pravac pod kutom $\alpha \approx 40°$. (Razni autori taj kut navode različito, ali uglavnom između 35° i 45°.) Dužina tog pravca određena je sjecištem s horizontalom kroz točke D i E, za koju znamo da je granica razvlačenja σ_R. Točka E uvijek je na simetrali I kvadranta (45°). Iz D pustimo vertikalu, a udaljenost $\overline{DF}$ nanesimo još jednom prema dolje. Dobivamo točku D′, koja čini jedan od uglova dijagrama. Spojimo

* U praksi bi to bio slučaj prigušenog opterećenja opruge, sa stalnom statičkom silom $F_d = \sigma_{min} \cdot A$.

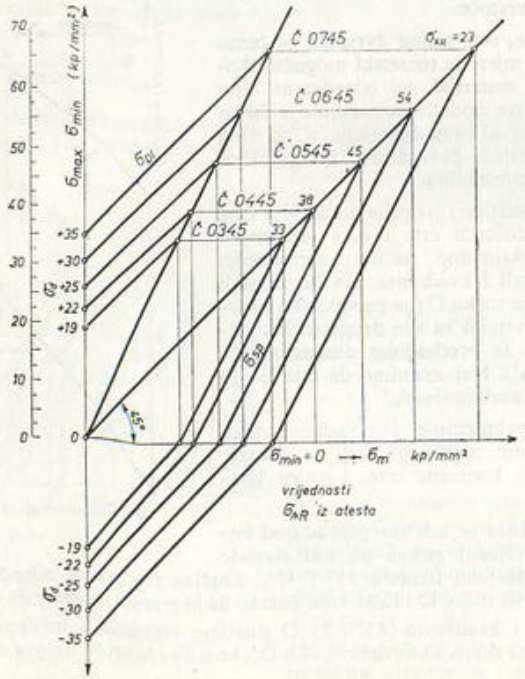


⑩ Dijagrami trajne čvrstoće konstruktivnih čelika (vlak i vlak-tlak)

D′ s točkom A′. Time dobivamo sjecište C′. Također spojimo D s E i na taj način zatvorimo čitav dijagram. Vertikala kroz C′ razgraničava područja izmjeničnih i pulzirajućih naprezanja.

Numeričke odnose između vlačne, savojne i torzijske čvrstoće te granice razvlačenja, izmjeničnih i pulzirajućih naprezanja vidi u raznim tablicama, a Smithov dijagram za vlačnu (odnosno tlačnu) i savojnu trajnu čvrstoću na ⑪ i ⑫.

Razumije se da analogne dijagrame možemo konstruirati i za ostale čelike (cementacijske itd.).



⑫ Dijagrami trajne čvrstoće konstruktivnih čelika (savijanje)

Primjer proračuna

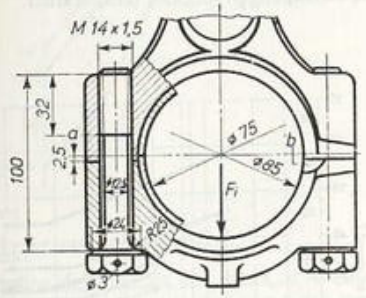
Spojni vijci dvodijelne glave ojnice prema ⑬.

Na vijku djeluju samo uzdužne sile (vidi preklop za 2,5 mm). Ležajne zdjelice osigurane su protiv zakretanja. Uzeti su vijci M14, promjera jezgre svornjaka 10,2 mm, dužine svornjaka bez navoja 68 mm i dužine navoja 32 mm. Sila u ojnici iznosi 1 450 kp. Na svaki vijak otpada 725 kp.

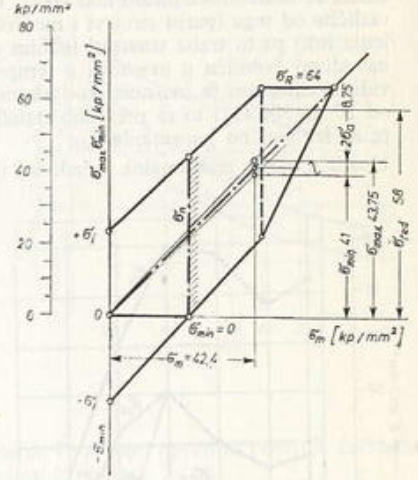
Materijal vijaka je (približno) Č 4720 (zakaljen), $\sigma_R = 64$ kp/mm².

Udarni faktor $\varphi = 1{,}5$, a dodatak dinamičnoj sili $F_{dod} = 150$ kp.

Na ⑭ vidimo Smithov dijagram (pojednostavnjenu konstrukciju).



⑬ Glava ojnice



⑭ Naprezanja u ojnici

Računajmo s prednaponom $\sigma_{pr} = 0{,}64\ \sigma_R = 0{,}64 \cdot 64 = 41$ kp/mm², gdje je 0,64 empirički faktor. Presjek svornjaka je 81,71 mm², pa je sila prednapona $F_{pr} = 81{,}71 \cdot 41 \cong 3\,350$ kp. Iz toga slijedi:

$$\sigma_{min} = 3\,350/81{,}7 = 41 \text{ kp/mm}^2.$$

Dvostruka amplituda $2\sigma_a = \varphi \cdot F_{dod}/A = 1{,}5 \cdot 150/81{,}7 = 2{,}75$ kp/mm².

Slijedi: $\sigma_{max} = \sigma_{min} + 2\sigma_a = 41 + 2{,}75 = 43{,}75$ kp/mm², odnosno:

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2 = (43{,}75 + 41) : 2 = 42{,}4 \text{ kp/mm}^2.$$

I slike vidimo da su sva ta naprezanja duboko u Smithovu dijagramu, pa i račun pokazuje da je iskorištenje granice razvlačenja umjereno:

$$100 \cdot \sigma_{max}/\sigma_R = 100 \cdot 43{,}75/64 = 68\ \%.$$

Međutim, pri kombiniranom opterećenju imamo:

$$\sigma_{komb} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau_t^2} = \sqrt{43{,}75^2 + 3 \cdot 23^2} \approx 58 \text{ kp/mm}^2$$

pa je iskorištenje σ_R znatno veće:

$$\frac{\sigma_{komb}}{\sigma_R} \cdot 100 = \frac{58}{64} \cdot 100 \cong 90\ \%!$$

Ovdje je uzeto: $\tau_t = M_t/W_t = 4\,800/10^3\ \pi/16 \approx 23$ kp/mm².

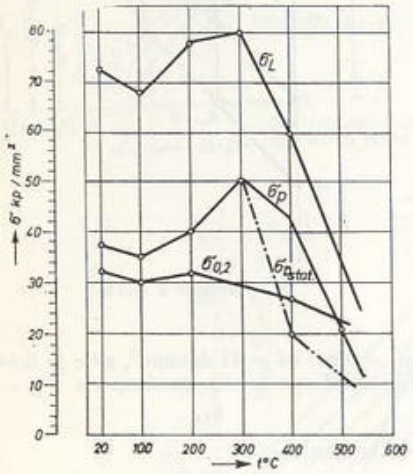
11.211.4 Razni utjecaji na čvrstoću metala

Čvrstoća (odnosno izdržljivost metala) zavisi još od drugih faktora koji nemaju isključive veze sa strukturom. Razmotrimo ih ukratko!

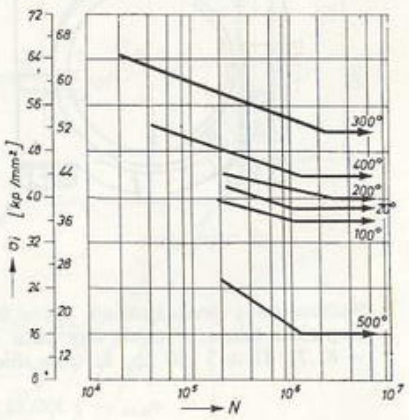
11.211.41 *Temperatura*

Čelici se normalno ispituju kod 20°C. U radu, međutim, nastupaju temperature sasvim različite od toga (parni strojevi i motori sa unutarnjim sagorijevanjem, rashladna postrojenja itd.) pa to treba smatrati jednim od ključnih podataka. Stoga u tablicama obično navodimo čvrstoću u ovisnosti o temperaturi, i to najčešće granicu razvlačenja. Na ⑮ vidimo dijagram te ovisnosti kod alatnog čelika sa 0,58% C, u temperaturnom rasponu od 20 do 500°C, i to za prekidno statičko naprezanje (σ_L), za granicu razvlačenja ($\sigma_{0,2}$) te za izmjenično naprezanje σ_{d1}.

Upada u oči da maksimalne vrijednosti ovdje ne nastupaju pri sobnoj temperaturi.



⑮ Ovisnost naprezanja o temperaturi (alatni čelik)



⑯ Wohlerove linije opadanja čvrstoće za razne temperature

Analogno se mogu prikazati za taj isti čelik i vrijednosti pulzirajućeg vlačnog naprezanja. Vidi Wöhlerove linije, koje pokazuju opadanje čvrstoće u ovisnosti o pulznom broju N, na ⑯, za razne temperature.

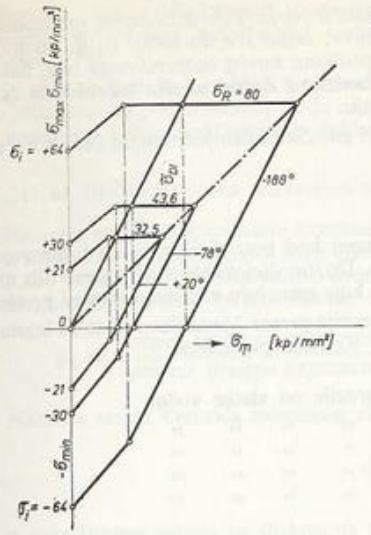
I u ovom slučaju su maksimumi izvan područja normalne temperature.

Razumije se da kod većine čelika ne nastupa ta pojava pa se kod njih oslanjamo na klasične spoznaje o opadanju čvrstoće (σ_R itd.) s porastom temperature.

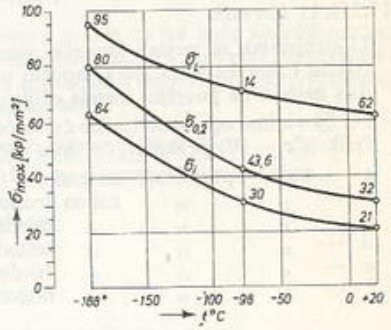
Niske temperature također su sve češća pojava, npr. u rashladnoj tehnici, kod naglih (adiabatskih) ispražnjavanja itd. Ispitivana su, na primjer, područja od $+20°$, $-78°$ i $-188°$C za σ_L, σ_R ($= \sigma_{0,2}$) i σ_{d1}. Na ⑰ i ⑱ prikazujemo tu ovisnost za vlak i vlak-tlak, kod čelika s 0,35% C u spomenutom temperaturnom intervalu, i to Smithovim i klasičnim dijagramom.

Treba, dakako, podsjetiti da se porast čvrstoće prilikom pothladivanja ne može uvijek primijeniti jer padom temperature dobivamo sve veću krhkost (smanjivanje udarne žilavosti), ako se radio nelegiranim i niskolegiranim ugljičnim čelicima.

⑰ Trajna čvrstoća na vlak i vlak-tlak pri niskim temperaturama



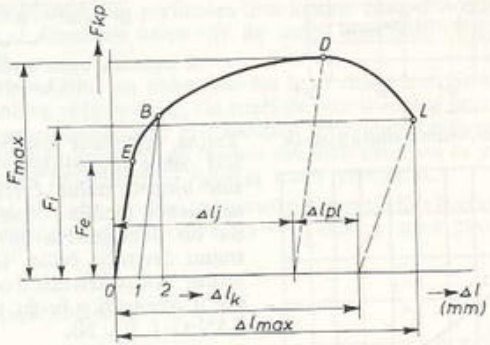
⑱ Ovisnost naprezanja istog čelika o temperaturi (klasični dijagram)



11.211.42 *Hladne deformacije*

Hladna deformacija (istezanje, izvlačenje, prešanje i valjanje) općenito povisuje čvrstoću i granicu razvlačenja, a u stanovitoj mjeri i trajnu čvrstoću.

Ovdje se radi o tzv. **očvršćivanju** čelika. Prikažimo to najprije Hookovim dijagramom ⑲ pa ćemo vidjeti da je riječ o neelastičnim (tj. o plastičnim) deformacijama, kad materijal već počinje popuštati, tj. u njegovoj se unutrašnjosti čestice već međusobno pomiču.



⑲ Hookov dijagram (pojednostavnjen)

No pokusi pokazuju, kako vidimo na slici, da pri tome naprezanja ipak i dalje rastu jer su opterećenja, potrebna za nastavak deformacija, sve veća.

Takvi pokusi otkrivaju još nešto.

Ako nakon rasterećenja pokusnu šipku ponovo **odmah** opteretimo, primijetit ćemo da **proporcionalnost** između opterećenja i produženja **ostaje** i pri opterećenjima većim od

prijašnje granice proporcionalnosti, odnosno elastičnosti E. Takvu linearnu međusobnu ovisnost na ponovo opterećivanoj šipki primjenjivat ćemo sve do točke B, tj. do točke kod koje smo šipku bili rasteretili. Krivulja će prilikom novog opterećivanja teći, dakle, po crtkanoj spojnici 1-B. To znači da nam **plastična deformacija očvršćuje** čelik jer se popuštanje javlja tek pri višem opterećenju.

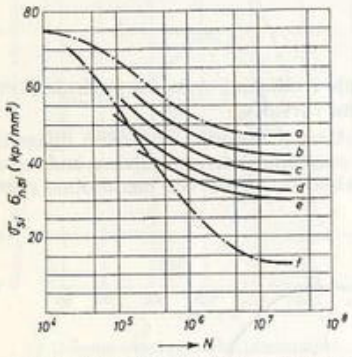
Praktičan primjer takvog očvršćenja surećemo pri gnječenju kao jednom od češćih načina prerade čelika.

11.211.43 *Korozija*

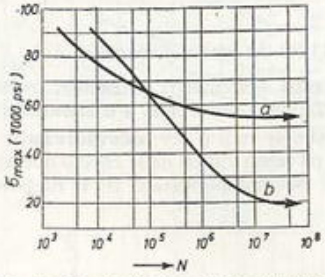
U strojarstvu se pojava korozije razmatra većinom kod pretlačnih posuda i cjevovoda (slatka i morska voda, para, ispušni plinovi itd.). Dužim djelovanjem tih agresivnih medija nastaju na površini metala ožiljci i pukotine koje smanjuju efektivan stvarni presjek.

Na ⑳ vidimo opadanje vlačne čvrstoće uslijed korozije prema MacAdamu, i to za legirani čelik (Cr – V) prekidne čvrstoće 105 kp/mm². Krivulje prikazuju:

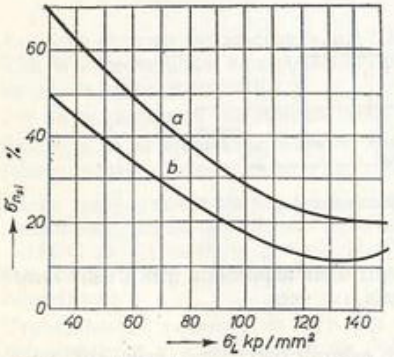
a – trajno opterećenje na zraku
b – „ „ nakon jednodnevne korozije od slatke vode
c „ „ „ dvodnevne „ „ „ „
d – „ „ „ šestodnevne „ „ „ „
e – „ „ „ 10-dnevne „ „ „ „
f – „ „ „ dugotrajne „ „ „ „



⑳ Opadanje vlačne čvrstoće uslijed korozije



㉑ Opadanje trajne čvrstoće čelika na zraku (a) i u vodi (b)



㉒ Postotna izmjenična čvrstoća na savijanje u ovisnosti o σ_L

Trajna otpornost protiv djelovanja korozije kod nekog materijala ne zavisi toliko od visine njegove trajne čvrstoće koliko od vrste agresivnog medija i otpornosti materijala protiv tih utjecaja. Na ㉑ krivulja a prikazuje trajnu čvrstoću čelika izloženog koroziji na zraku, dok se krivulja b odnosi na slatku vodu, sve u ovisnosti o broju titraja N, za čelik sa 0,5% C i 5% Ni.

Na ㉒ vidimo još primjer postotnog opadanja izmjenične čvrstoće čelika na savijanje, pod utjecajem slatke (a) i morske vode (b), u zavisnosti od vlačne prekidne čvrstoće σ_{vL} prema Lehru [Ler].

Treba još naglasiti da korozija u području vlačnih i tlačnih naprezanja ne djeluje jednako. Eksperimenti pokazuju da polirani pokusni štap od opružnog čelika vlačne pulzirajuće

čvrstoće σ_{DN} = 120 kp/mm², pod utjecajem slatke vode gubi 87% svoje čvrstoće. Naprotiv, pri tlačnoj pulzirajućoj čvrstoći od 165 kp/mm² pod istim utjecajem gubi samo 17%.

Iz toga se vidi da su ožiljci i pukotine mnogo manje štetni pri tlačnim opterećenjima. Čelike koji se pod utjecajem vode i kiselina znatnije ne mijenjaju ubrajamo među »antikorozivne« i »kiselinski otporne« čelike.

11.211.44 *Djelovanje utora pri izmjeničnim opterećenjima*

Nazivno naprezanje izazvano titrajnim opterećenjem, a koje se još zove »izdržljivošću«, u slučaju zarezanog štapa ne ovisi više samo o obliku utora (α_k) već i **o vrsti materijala.** Kako se pri tome čvrstoća uslijed djelovanja utora smanjuje za stanovit (izmjerljiv) faktor, moguće je definirati ga kao **faktor utornog djelovanja:**

$$\beta_k = \frac{\text{stvarno titrajno naprezanje}}{\text{nazivno titrajno naprezanje}} = \frac{\text{trajna čvrstoća glatkog štapa}}{\text{izdržljivost zarezanog štapa}} = \frac{\sigma_D}{\sigma_k}$$

Nazivna trajna čvrstoća zarezanog dijela je, dakle:

$$\sigma_{Dn} = \frac{\sigma_t}{\beta_k}$$

a **osjetljivost** metala na djelovanje utora η_k izražavamo formulom:

$$\eta_k = \frac{\beta_{k-1}}{\alpha_{k-1}}$$

Vrijednosti β_k uvijek leže između 1 i α_k. Stanoviti su materijali neosjetljivi na utore, tj. vrši naprezanja ne prekoračuju znatno trajnu čvrstoću glatkog štapa pa se faktor β_k približava vrijednosti 1. Praktično je to slučaj pri sivom livu niske čvrstoće i malih dimenzija. Budući da već grafitni listići djeluju poput utora, on je prema vanjskim zarezima neosjetljiv.

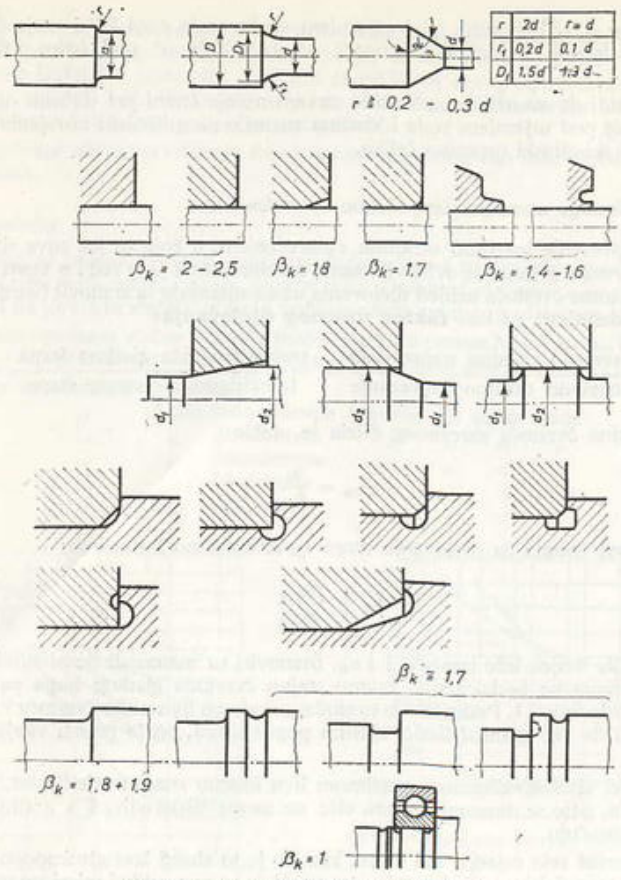
Naprotiv, pri visokokvalitetnom perlitnom livu imamo znatnu osjetljivost, čak i kod velikih komada, gdje se dimenzije utora više ne mogu uspoređivati s grafitnim listićima, već ih prekoračuju.

Ako je materijal vrlo osjetljiv na utore, kao što je to slučaj kod visokopoboljšanih čelika, faktor β_k gotovo dobiva vrijednost α_k, što znači da utor u velikoj mjeri smanjuje čvrstoću. Kod takvih čelika mora konstruktor vrlo pažljivo predvidjeti oblik predmeta da bi djelovanje utora sveo na minimum. Na ㉓ imamo nekoliko primjera za vrijednost faktora β_k, iz čega se vidi koja su konstruktivna rješenja utora povoljnija.

Za okrugle štapove s kružnim utorima, od konstruktivnog čelika čvrstoće 50 do 60 kp/mm², opterećene na savijanje, često se uzima β_k = 2, dok za utore pravokutnog profila vrijedi β_k = 2,5 do 3.

11.211.45 *Utjecaj stanja površine*

Svako oštećenje površine djeluje poput sitnog oštrog utora. Pažljivo polirana površina ima najmanje takvih nepravilnosti pa zato i najveću trajnu čvrstoću, dok je kod raznih ogrebotina, zareza, istokarenih žljebova itd. ona znatno manja, osobito ako se radi o čvrstim materijalima, osjetljivima na utore. Još je štetnija pojava **okujine,** koja nastaje na metalu prilikom valjanja ili termičke obrade. Također je nepovoljan slučaj **razuglji-čenja** visokokvalitetnih vrsta čelika na površini, bogatoj ugljikom, što nastaje tokom žarenja u oksidirajućoj atmosferi, jer to vidno smanjuje trajnu čvrstoću. Logično je, dakle, da visokopoboljšani čelici postižu visoku trajnu čvrstoću samo uz odgovarajuću, tj. besprijekornu površinu.



Faktor utornog djelovanja u konstrukcijama

11.211.46 *Frekvencija titranja*

Titrajna opterećenja koja nisu suviše česta, tj. s frekvencijom ispod 100 Hz (= broj titraja u sekundi), spadaju još u »normalno« područje u kojem frekvencija ne utječe mnogo na trajnu čvrstoću. Pri vrlo visokim frekvencijama ona, međutim, nešto poraste. Indirektan utjecaj frekvencije može se pojaviti time što se uslijed unutrašnjeg trenja materijala pokusni uzorak ugrije utoliko jače, ukoliko više raste frekvencija. Da bi se taj utjecaj uklonio, mora se u tom slučaju pokusni štap prilikom ispitivanja hladiti uljem.

11.211.5 Odnos pojedinih karakteristika metala

U praksi je često potrebno da jednu vrstu naprezanja pretvaramo u neku drugu. Zasad ne postoje sasvim egzaktni podaci za takvo pretvaranje, ali su eksperimenti pokazali da je moguće računati s više-manje stalnim odnosima između tih karakteristika pa ih kao takve navodimo prema postojećoj literaturi. (Lit. 11).

11.211.51 *Granica razvlačenja (za statička opterećenja) čelika*

- Pri vlaku veličine σ_R i $\sigma_{0,2}$ praktički padaju zajedno.
- Pri savijanju je σ_R znatno veće nego kod tlaka:
  za okrugao presjek 40–50%, za kvadratni presjek 30–40%.
- Pri torziji je granica razvlačenja $\tau_{tR} = (0{,}58-0{,}62)\cdot\sigma_R$

11.211.52 *Izmjenična čvrstoća*

- Savijanje

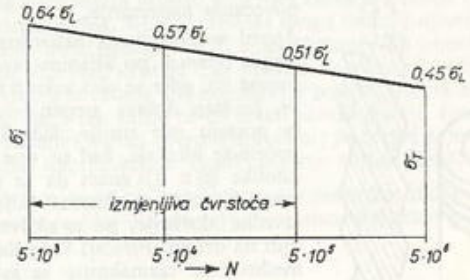
$\sigma_{SD} = 0{,}6\,\sigma_L$ za $\sigma_L < 50$ kp/mm²
$= 0{,}5\,\sigma_L$ „ $50 < \sigma_L < 70$ kp/mm²
$= 0{,}4\,\sigma_L$ „ $\sigma_L > 70$ kp/mm²

odnosno pomoću jedne od ovih empirijskih formula:

$0{,}285\,(\sigma_R + \sigma_L)$ $\qquad$ $0{,}2\,(\sigma_R + \sigma_L + \psi)$
$0{,}25\,(\sigma_R + \sigma_L) + 5$ $\qquad$ $\alpha\cdot\sigma_L + \beta\cdot\sigma_R$
$0{,}6\,\sigma_L - 0{,}01\,\sigma_L^2$ (samo kod čelika za poboljšanje).

Među najtačnije formule ide relacija:

$\sigma_{SD} = (0{,}36 \div 0{,}62)\,\sigma_L \cong 0{,}495\,\sigma_L$ (srednja vrijednost).



Izmjenična čvrstoća (vlak-tlak) u ovisnosti o broju titraja

Vlak-tlak. Prema američkim eksperimentima $\sigma_D = 0{,}6-0{,}9\,\sigma_L$ (kp/mm²).

Torzija. Prema Hempelu može se vrijednost za torziju izračunati približno iz formule: $\tau_{tD} = (0{,}4 \div 0{,}5)\,\sigma_D$ kako to nalazimo prema američkim autorima za čelike koji se pokoravaju Hookeovu zakonu.

11.211.53 *Pulzirajuća čvrstoća*

Kod kuta $\alpha = 35°$ u Smithovu dijagramu vrijedi odnos

$$\sigma_{DN} = (1{,}54 - 1{,}62)\cdot\sigma_D \approx (0{,}615 - 0{,}835)\cdot\sigma_L$$

Pregled dopuštenih naprezanja za češće metale prikazan je u tablicama 11.52–37/39.

11.212 Otpornost metala

11.212.1 Otpornost rastezanju

11.212.11 *Pojmovi*

Otpornošću metala zovemo njegovu sposobnost odupiranja raznim pojavama, npr. rastezanju, sabijanju, savijanju, zakretanju, odrezivanju, gloženju. Dok je čvrstoća podatak krajnje izdržljivosti materijala, otpornost se razmatra već u samim počecima nastupa

vanjskih utjecaja, a tumači se određenim pojavama u materiji. Na taj način otpornost materijala objašnjava i njegovu čvrstoću.

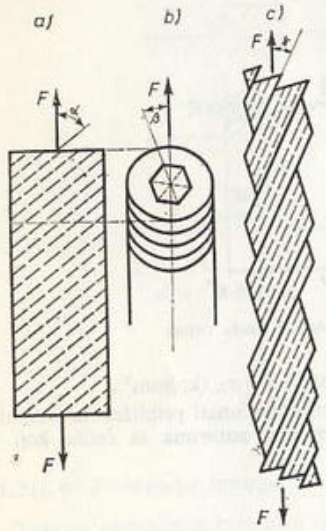
Otpornost materijala može se promatrati sa četiri stajališta, koja se mogu rezimirati ovako:

11.212.12 *Fizikalni prikazi rastezanja*

Atomi metala mogu se odvojiti, odnosno međusobno udaljiti trganjem ili odrezivanjem. Trganje je slučaj kada dva atoma razdvajamo **u smjeru** njihove spojnice, a odrezivanje je razdvajanje u smjeru **okomitom** na njihovu spojnicu. Fizičari gledaju, dakako, na materiju idealno, kao da je savršenog sastava, pa nalaze računima da su sile potrebne za razdvajanje oko 100 puta veće od stvarnih sila koje se susreću u tehnici.

11.212.13 *Otpornost monokristala*

Ovdje se radi o golemim kristalima nekih metala specijalno načinjenim u tu svrhu, s heksagonskom rešetkom (npr. od cinka). Atomi se u monokristalu, tj. »kristalu samcu« pomiču oko dva puta lakše putem odrezivanja nego putem trganja. Za to imaju zaslugu klizne ravnine, paralelne s bazom heksagona. Ako se rastezanje provede do područja plastičnih deformacija, doći će do popuštanja, tj. do ubrzanog produžavanja i sužavanja šipke, čak i bez povećanja naprezanja.



㉓ Klizanje atoma u nizovima

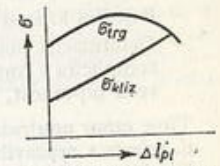
Atomi se pomiču u nizovima u smjeru najprikladnijih pravaca po kliznim ravninama, otprilike kao prema ㉓, gdje se vidi kako ti nizovi međusobno kliže, pa štap dobiva stepeničastu površinu. Stepenice postaju sve sitnije, jednoličnije, za razliku od početnog klizanja, kad su one još posve grube i nednolike ㉓c. To znači da se pomaci ne izvode na svim kliznim ravninama odjednom, već su neke ravnine aktivnije, pa ta aktivnost prelazi s jedne od njih na drugu. Fizičari kažu da su te aktivne ravnine međusobno razmaknute za koji stotinjak atomskih razmaka, dok su dužinski pomaci i 10 puta veći.

Na ㉓ vidimo da ovdje postoji i rotacija, zbog koje se kut α sve više smanjuje ($\alpha_1 < \alpha$). Također se smanjuje kut β što ga smjer kliznog pravca čini s projekcijom smjera djelovanja rastezne sile. To sve znači temeljito preusmjeravanje elemenata kristala u smjeru djelovanja sile.

Ako uzmemo neki drugi monokristal, u kojem imamo splet dviju porodica kliznih ravnina, koje stoje međusobno pod nekim kutom, atomi će biti pod utjecajem obiju porodica sila, dakle pod dvojakim naprezanjem, od kojih će jedno izazvati **trganje,** drugo **odrezivanje.** Time se pojave kompliciraju, to više jer je otpor odrezivanju mnogo manji od otpora trganju pa dolazi do znatnog pomicanja atomskih nizova kao cjelina, međusobno, ali bez znatnog razmicanja susjednih atoma u pojedinom nizu.

Moramo, dakle, sebi predočiti da se deformacije u metalima ostvaruju putem pomaka atomskih nizova u smjeru kliznih pravaca i kliznih ravnina, a ne u nekim drugim smjerovima. Možemo još dodati da **elastična** deformacija odgovara razmjerno pravilnom nagibanju cijele strukturne rešetke, dok **plastična** deformacija odgovara samo stanovitim poklizima po kliznim ravninama u kojima rešetke trajno ostaju (trajne deformacije), ali koje je moguće pratiti samo uz dublju analizu situacije. Ograničimo se stoga samo na najkrupnije uzročnike koji motiviraju proces deformacije.

Nepravilnosti rešetke (vidi metalografiju) suštinski ometaju klizanje pa ono ne počinje na svim ravninama istodobno. Fizičari dokazuju da su najmanji razmaci između aktivnih ravnina na kraju deformacije otprilike jednaki mozaičnim odlomcima (diskontinuitet). Metal je slojevito potiskivan, nehomogen, te pojedini atomi različito reagiraju na pokretanje. Javlja se mjestimičan otpor pa deformacija može čak prestati. Treba, dakle, povećati opterećenje da bi se deformiranje moglo nastaviti. To znači da je deformacija **očvrstila** materijal! Uočavamo da tumačenje o pojavi očvršćenja metala putem plastičnih deformacija moramo prvenstveno tražiti u izvitoperenosti rešetke i u napetostima skopčanim s tim vitoperenjem, koje se pridružuje još tokom deformiranja. Do raskida materijala dolazi kinetički, tj. tako da najprije nastaje pukotina, i to na mjestu najveće koncentracije navedenih napetosti; noseći presjek biva sve manji pa naprezanja brzo rastu i dovode do loma.



㉔ Očvršćenje trganjem i klizanjem

Plastične deformacije očvršćuju materijal ne samo s obzirom na klizanje već i s obzirom na trganje. Međutim, dok pri klizanju očvršćenje raste skroz, tj. sve do prestanka svakog klizanja, pri trganju u početku otpor raste, a kasnije pada ㉔. Trganjem se, naime, iščupavaju atomi ili skupine atoma, i to upravo na najnapregnutijim mjestima najvećih koncentracija naprezanja.

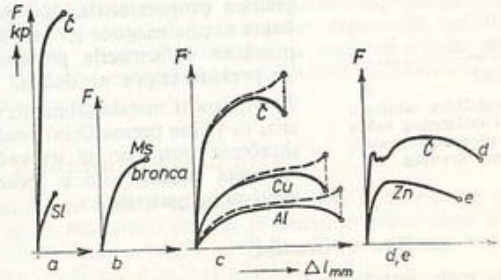
Dobivamo smanjen otpor trganju, znači pad krivulje σ_{trg}. Do raskida dolazi kad otpor klizanjem premaši otpor trganju.

Ima, dakako, i metala s još većim brojem smjerova ravnina klizanja (Al, Cu, Ni, Pb itd.), kubnog plošno centriranog tipa. Kod tih rešetki mogu rotacije dovesti do promjene aktivacije u klizanju i time eventualno zakočiti neka klizanja. To zamršuje proces jer može neke već deformirane dijelove kristala čak prisiliti na obrnuti smisao deformiranja! U tom će slučaju naprezanja obratnog smjera najprije poništiti očvršćenje do kojeg je došlo u prvobitnoj deformaciji, a tek zatim će djelovati očvršćujuće u svom smjeru. Rezultirat će neko **manje** očvršćenje (gubici preusmjeravanja!) pa će pri tome stanju materijal popuštati već pri manjim naprezanjima (Bauschingerov efekt) [Baušing].

Mogućnost te pojave je to veća što kristal ima više smjerova kliznih ravnina. Osim toga, u ovom slučaju je i mala razlika između otpornosti monokristala i polikristalnog agregata.

11.212.14 *Otpornost polikristala*

U praksi su češći slučajevi polikristaličnog materijala. Na ㉕ vidimo tipične krivulje naprezanja: a) za zakaljene čelike i za sivi liv, b) mjedeni liv i broncu, c) za legirane čelike te Cu i Al u meko odžarenom stanju, d) za meke čelike u valjanom i odžarenom stanju te neke vrste mjedi i bronce.



㉕ Krivulje naprezanja za sivi liv i za kaljive čelike (a), mjed i broncu (b), legirani čelik, bakar i aluminij (c), neke čelike u valjanom i odžarenom stanju i cin (d)

Kako vidimo, različiti se metali različito ponašaju prilikom opterećivanja. Redovito su za polikristale vrijednosti za čvrstoću veće, a za rastežljivost manje. Red veličina tih razlika je za različite metale različit; napose je velik za metale s malim brojem smjerova klizanja, npr. za Zn i Mg (heksagonska rešetka — 1 porodica kliznih ravnina). Odakle te razlike prema monokristalima?

Osnovni je uzrok tih razlika u tome što je monokristal na svojoj površini slobodan, dok pojedini kristali u polikristalu nisu slobodni. To ima za posljedicu ove utjecaje:

- Svi kristali u polikristalu nisu nikad jednako povoljno orijentirani za djelovanje neke sile (nejednak broj kliznih smjerova). Neki kristali imaju znatnije plastične deformacije, iako za čitav polikristal kao cjelinu još prevladavaju elastična naprezanja.
- Pojedini kristali mogu mijenjati smjer svoje deformacije (Bauschingerov efekt).
- Deformacija pojedinog kristala u polikristalu općenito je nehomogena. Situacija se komplicira s kombiniranim naprezanjima. Neki se kristali očvršćuju, što znači njihovu veću otpornost, ali manju rastežljivost cjeline.

Time otpor unutrašnjosti postaje veći, to više jer se pribraja i izravno djelovanje granica, tj. mjesta s nepravilnim rasporedom atoma (prema tome, bez kliznih ravnina i pravaca). Dio štapa, dakle, u kojem leži granica između dva kristala, popušta mnogo **sporije** nego ostali dijelovi štapa. I sam prekid nastaje izvan područja te granice.

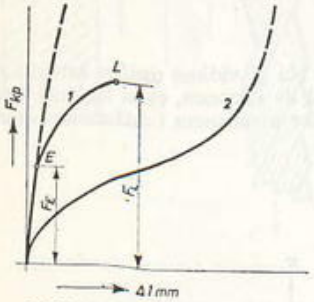
Otpornost metala je, kako vidimo, stanovita srednja vrijednost mjestimičnih vrijednosti. Stoga treba svojstva metala i ispitivati uz strogo određene uvjete.

11.212.15 *Konstruktivna izvedba*

Otpornost materijala u znatnoj mjeri zavisi od oblika predmeta, prijelaza, redukcija itd. U tom pogledu mogli bismo ponoviti sve ono što je u vezi s koeficijentima α_k i β_k iz prethodnog poglavlja (stavci 11.211.14 i 11.211.44).

11.212.2 Otpornost sabijanju (statički)

Za praktički homogene metale su karakteristike sabijanja ne samo razmjerne već i praktički jednake (po apsolutnim vrijednostima) karakteristikama za vlačnu čvrstoću. Izuzetak su, stoga, nehomogeni metali, npr. sivi liv, gdje nema te podudarnosti pa se otpornost mora posebno ispitati.



Otpornost statičkom sabijanju sivog liva (1) i odžarenog bakra
F_E = granica proporcionalnosti,
F_L = lomna čvrstoća

Teoretski je sabijanje negativno rastezanje s analognim obrnutim pojavama. Produženju odgovara skraćenje, a suženju odebljanje.

Sl. 28 prikazuje dva tipična dijagrama dobivena pri ispitivanju otpornosti statičkom sabijanju.

Krivulja 1 odnosi se na sivi liv, a 2 na odžareni bakar. U prvom slučaju možemo jasno odrediti granicu proporcionalnosti i prekidnu čvrstoću. Kod bakra to nije moguće jer je s jedne strane prijelaz u plastične deformacije postepen, a s druge strane do prekida uopće ne dolazi.

Za otpornost metala sabijanju važan je odnos dimenzija, tj. visine prema širini predmeta. Za istu veličinu skraćenja potrebno je to **veće** opterećenje što je epruveta **niža.** (Više o tome vidi u poglavlju o ispitivanju materijala.)

11.212.3 Otpornost savijanju (statički)

Kod metala vrlo male rastežljivosti važno je utvrditi podatke o otpornosti savijanju, npr. za sivi liv. Poznato je da savijanje znači rastezanje (na vanjskoj strani) i sabijanje na unutrašnjoj strani štapa pa se oboje primjećuje istodobno.

Rastežljivost se ocjenjuje po veličini progiba. Može se odrediti i konvencionalna granica elastičnosti ako se nađe naprezanje pri kome profil postiže neku dogovorenu vrijednost. Za različite materijale naći će se, naravno, različite veličine. Što se tiče plastičnosti, treba uzeti progib koji se očitava u trenutku prijeloma.

Kod vrlo rastežljivih materijala ne dolazi uopće do prijeloma pa to treba uzeti u obzir pri izboru metode ispitivanja. Nasuprot tome, krhki materijali (sivi liv, kaljeni i niskopopušteni čelik) pucaju gotovo bez trajne deformacije pa je to važnije utvrđivanje otpornosti da bi se ocijenila njihova — iako malena — plastičnost, to prije što krhki materijali u praksi stvarno pucaju najčešće pod djelovanjem savojnih opterećenja.

Budući da su pri savijanju vanjski slojevi najviše napregnuti, tj. sama površina, ovo se svojstvo iskorišćuje za razmatranje slučajeva gdje su interesantne površinske pojave (ljevačka i valjačka kora, lakovi itd.). Za lijevane metale tom se prilikom mogu zamjećivati i unutrašnje greške koje su u lijevanim epruvetama vrlo česte. Najznačajnije su, dakako, one greške koje se nalaze u opasnom presjeku. Druge, tj. udaljenije greške ne utječu na dobivene rezultate jer je njihovo djelovanje utoliko slabije.

11.212.4 Otpornost torziji (statički)

Velik broj strojnih dijelova opterećen je torzionim, tj. zakretnim opterećenjem, koje se teško može konstatirati. Metode kojima se ono predučuje kao kombinacija rastezanja i sabijanja ne vode dovoljnoj tačnosti. Postoje, međutim, tipovi ispitivanja koji osvjetljavaju neke bitne karakteristike torzijskih naprezanja. Tako je primijećeno da se dimenzije epruveta praktički ne mijenjaju za čitavo vrijeme ispitivanja unatoč deformacijama koje se u poprečnim presjecima raspoređuju jednoliko po duljini epruvete. Te se deformacije sastoje od kružnih pomicanja čestica pojedinih poprečnih presjeka epruvete po ravninama okomitim na os epruvete. Nadalje, moguće je naći izrazitu povezanost svojstava otpornosti metala s izgledom **prijeloma** štapa po kojem se lako utvrđuje da li je u konačnom stadiju ispitivanja prevladao utjecaj odreznih ili glavnih normalnih naprezanja.

Ispitivanja pokazuju da se elastične i plastične deformacije ne raspoređuju radijalno i jednolično po poprečnom presjeku. Znatni unutrašnji dijelovi poprečnog presjeka ostaju elastično deformirani, dok su drugi vanjski dijelovi već plastično deformirani. Iz toga se vidi da iznosi smičnih naprezanja izračunani po standardnim metodama nisu sasvim ispravno stvarne vrijednosti.

Spomenuta nejednoličnost uzrokuje dodatne napetosti koje djeluju na veličinu trajnih deformacija. Ako se, dakle, traže stvarne vrijednosti naprezanja, treba ih pronaći posebnim metodama opisanim u specijalnoj literaturi.

11.212.5 Otpornost nestatičkim naprezanjima

Osim navedenih (statičkih) slučajeva ima i dinamičkih naprezanja izazvanih udarnim i titrajnim opterećenjima i trenjem. Za utvrđivanje otpornosti pri tim opterećenjima potrebno je prethodno bar grubo upoznati daljnja svojstva metala prikazana u idućim poglavljima. To su žilavost i umorljivost (»dinamička izdržljivost«), na koje ćemo se posebno osvrnuti kasnije.

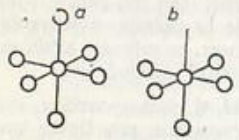
11.212.6 Otpornost glođenju (habanju, trošenju)

Pod glođenjem razumijemo brzinu trošenja materijala podvrgnutog trenju zbog pomicanja po nekom drugom materijalu uz koji je pritisnut stanovitom silom (ležaji, klizne površine). Prema načinu djelovanja sile to mogu biti statičke pojave (ako je sila konstantna) ili dinamičke (različita, npr. tirajuća sila).

Određivanje otpornosti glođenju zasniva se na razmatranjima suštine trenja.

11.212.61 *Trenje na metalnim površinama*

Pojava trenja temelji se na atomskoj građi površine metala. Ako pretpostavimo da atom u tijelu u svim smjerovima podržava tzv. valentne veze ㉙a, onda se za neki atom uz samu površinu mora smatrati da je s jedne strane (tj. vanjske) prikraćen za tu vezu, tj. ondje gdje je metal prekinut (prerezan); tamo je dotična »veza« prekinuta pa strši kao nezasićena ㉙b.

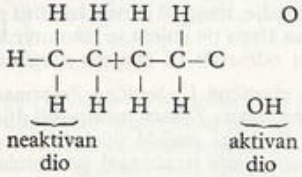


㉙ Zasićena (a) i nezasićena (b) »valentna« veza atoma

Vanjsku površinu, dakle, čini čitavo područje takvih prekinutih veza, tj. stršećih atoma sa slobodnim električnim potencijalima. Ako na takvu površinu položimo neku drugu metalnu površinu, također s nezasićenim vezama, stanovit će se dio njih, s jedne i druge površine, međusobno zasićivati uslijed preklapanja. To će uroditi **prianjanjem** površina, koje se može svladati samo utroškom stanovitih sila. Ako želimo površine rastaviti u paralelnom smjeru s tim ravninama, javlja se otpor **trenja,** a u okomitom smjeru suprotstavit će se **adhezija.** Svaki će posmak, naravno, značiti istrgavanje atoma, a to dovodi do **trošenja** površina. Istrgnute čestice na jednoj od ploha ostat će na drugoj plohi ili će uslijed daljnjeg trenja biti naknadno otkinute i odande, odnosno otpast će poput ostružaka. Takvu pojavu pobliže nazivamo **suhim trenjem.**

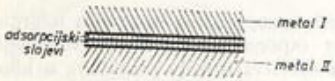
Mazni sloj ublažuje, odnosno posve uklanja iščupavanje čestica iz površine. Strukturu maziva čine makromolekule dugoljastog oblika, s jedne strane aktivne, s druge pasivne. Aktivna strana makromolekule odmah prianja uz nezasićenu vezu nekog površinskog atoma i postavlja se okomito na tu površinu (po zakonu privlačenja raznoimenih i odbijanja istoimenih polova).

Evo sheme jedne makromolekule:

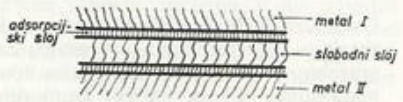


Isto će se dogoditi i s drugim molekulama duž površine, štaviše, nastat će nekoliko slojeva, već prema privlačnoj snazi nezasićene površine.

Treba reći da je privlačna snaga metalnih površina vrlo velika (jer je i električni potencijal ovdje nerazmjerno veći nego kod nemetala). Dobit ćemo stoga niz molekularnih slojeva maziva, sređenih i kompaktnih, koje zajednički ubrajamo u tzv. **adsorpcijski** (privučeni) sloj ㉚.



㉚ Granično trenje metala I i II po adsorpcionim slojevima



㉛ Tekuće trenje metala I i II preko slobodnog sloja

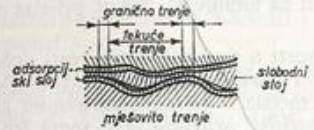
U stanovitoj udaljenosti od površine ta privlačnost prestaje djelovati, pa počinje tzv. **slobodan** sloj, nevezan, koji se miče i razlijeva posve slobodno. On se bez teškoća skida s metala, dok se adsorpcijski sloj jedva uklanja, tj. samo uz pomoć odgovarajućeg rastvora.

To je samo grub prikaz maznog sloja, koji će biti interesantniji ako razmatramo pomicanje ploha.

Ako između dviju metalnih ploha imamo na svakoj od njih samo adsorpcione slojeve, doći će prilikom njihova pomicanja do tzv. **graničnog trenja.**

Trošenje površine, odnosno sam otpor pomicanja, bit će tada znatno manji nego pri suhom trenju. Ako, međutim, **između** adsorpcijskih slojeva dolazi i do slobodnog sloja ㉛, molekule maziva neće uopće više biti uzajamno povezane, već će se slobodno kretati po postojećim fizičkim zakonima. To je slučaj **tekućeg trenja,** po iznosu još mnogo manjeg od graničnog trenja.

U praksi treba uzeti u obzir još **glatkoću** površine. Nalijeganje ploha, i uz najbolje obrađene površine i tolerantne dosjede, može se vidjeti pod povećalom kao vrlo grub, tj. samo mjestimičan dodir dviju ploha (s graničnim trenjem) ㉜ dok pretežni dio površine više-manje odstupa, pa omogućuje stvaranje **tekućeg trenja.**



㉜ Mješovito trenje

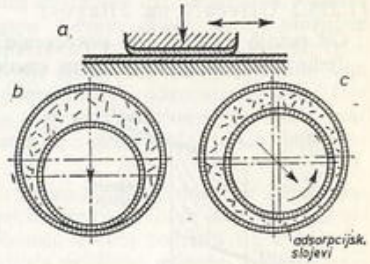
Kombinaciju graničnog i tekućeg trenja zovemo **mješovitim trenjem** i ono nastupa redovito, kod ispravno konstruiranih slojeva. Uz male brzine pomicanja, a još više pri mirovanju, plohe će se doticati na malim površinama, no granični sloj **neće** biti istisnut (ako je međusobni pritisak u granicama dopuštenog) i plohe se, dakle, **neće** ni na tarnim površinama **potpuno** približiti. Između tih mjesta imat ćemo k tome još i slobodnih slojeva pa nam je time osigurano mješovito trenje.

Pri većim brzinama, napose na rotacijskim plohama (ležaj), mogu se tokom vrtnje oba metala odmaknuti jedan od drugoga zbog toga što se mazivo uvlači između njih. Time se sam po sebi osigurava slobodan sloj pa nastaje **tekuće** trenje (slučaj vrtnje osovine u ležajnoj blazinici kod velikih brzina ㉝.

Za taj su slučaj, dakle, velike brzine povoljnije od malih jer se upravo na taj način stvaraju uvjeti tekućeg trenja.

Za klizišta — bilo translatorna, bilo rotacijska — poželjna su u prvom redu tekuća ili bar mješovita trenja.

Nastaje pitanje: **kakav mora biti profil i kakva slitina** da se osigura mješovito trenje? Tehnika je došla do spoznaje da je najpovoljniji profil klizne plohe onaj prema ㉞.



㉝ Trenje na rotacionim plohama

Ukratko se može reći: **potrebna je takva površina kod koje su neravnine što manje po visini, što jednoličnije po rasporedu** i naravno, sa **što većim udjelom udubina prema udjelu izbočina.**

㉞ Poželjan profil klizne plohe

Samom obradom nije moguće udovoljiti tim zahtjevima. Zato se uzimaju **antifrikcijske** slitine, koje nisu homogene, već **heterogene** strukture, tj. sastavljene bar od dviju faza međusobno različitih po mehaničkim svojstvima. To je riješeno tako da se struktura tih slitina sastavlja od više faza, od kojih su neke tvrde, a druge mekše i rastežljive. Pri uhodavanju ležaja brže se troši mekša faza i tako tvrda faza ostaje reljefno izbočena, a to upravo odgovara ㉞. Osigura li se da udio mekše faze bude veći, udovoljit će se uvjetu da udio udubljene mase bude veći, s odgovarajućim slobodnim slojem maziva, a to znači postizavanje tekućeg trenja. Štaviše, time će se ostvariti i ove dobre strane:

- udesivost dijelova koji se međusobno taru kao cjelina
- ugibljivost tvrdih izbočina u mekoj masi (preuzimanje oštećenja)
- prihvaćanje eventualnih sitnih tvrdih čestica koje se utiskuju u meku masu pa se izoliraju od štetnog djelovanja.

O konkretnim materijalima za ležaje vidi u poglavlju 11.45 (antifrikcijske slitine).

11.213 Žilavost metala

11.213.1 Pojmovi

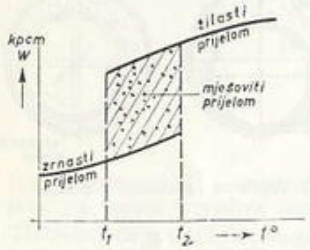
Svojstvo žilavosti zaslužuje istaknutu pažnju u strojarstvu. Po definiciji to je otpornost materijala udarnom opterećenju. Suprotno svojstvo je **lomljivost,** kao što je pri statičkim opterećenjima krhkost suprotna rastežljivosti. Po pravilu je rastežljiviji materijal ujedno žilaviji, a krhkiji je lomljiviji. Ipak se ti pojmovi ne smiju poistovetiti jer se njihove veličine ne mijenjaju jednakim intenzitetom. Ima metala koji pri određenoj promjeni vanjskih uvjeta pokazuju skokovit prijelaz od žilavosti na lomljivost, dok je prijelaz od rastežljivosti na krhkost za sve metale postepen.

Do spomenutog skokovitog prijelaza iz područja žilavosti u područje lomljivosti dolazi u metalima s prostorno centriranom kubnom rešetkom i s heksagonalnom rešetkom. (Vidi tablicu fizikalnih veličina 11.52-1.) Naprotiv, kod metala s plošno centriranom kubnom rešetkom ne nastupa ta pojava. Suština skokovitog prijelaza je u tome što u području žilavosti (dinamičke otpornosti) isprva prevladavaju plastične deformacije, a prijelom nastupa u trenutku kad je svladana otpornost na odrez. Za razliku od toga, u području lomljivosti prijelom nastaje gotovo bez ikakvih prethodnih plastičnih deformacija, tj. izravnim svladavanjem otpornosti trganju.

I prijelom pokazuje razlike: u području žilavosti vide se izduženi i suženi kristaliti (»žilasti prijelom«). U području lomljivosti prijelom ima, naprotiv, svijetao i zrnast izgled pa se i zove ukratko »zrnastim prijelomom«.

11.213.2 Utjecaji na žilavost

Od raznih utjecaja koji povećavaju lomljivost najviše se spominju temperatura i brzina djelovanja opterećenja, zatim stanje predmeta u pogledu prethodno pretrpljenih deformacija (znači i napetosti) i, na kraju, oblik predmeta, pri čemu je najznačajnije djelovanje zareza (utora).



35 Prijelaz iz žilavosti u lomljivost

Za metale koji podliježu lomljivosti pri niskim temperaturama postoji pojam **hladnolomljivosti.**

Prijelaz iz područja žilavosti u područje lomljivosti ne odvija se pri jednoj temperaturi, već postoji zato čitavo prijelazno područje, tzv. kritična zona. Na 35 to je označeno intervalom $(t_2 - t_1)$.

Kritična zona između žilastog i zrnastog prijeloma na 35 (tzv. mješoviti lom) ujedno je stanovit iznos radnje potrebne za ostvarenje prijeloma. Ispod temperature t_1 imamo uvijek zrnast prijelom, a u kritičnoj zoni nastupaju djelomično i plastične deformacije.

Ostali vanjski utjecaji pomiču kritičnu zonu ulijevo ili udesno. Na primjer, brzina deformiranja kod većih iznosa potiskuje kritičnu zonu udesno k višim temperaturama pa se područje lomljivosti proširuje. Isto se događa i pri povećanju dimenzija predmeta, nadalje pri četvrtastim presjecima, za razliku od okruglih, i napokon, pri postojanju utora (zareza). Nasuprot tome kritična zona ide ulijevo ako se smanji homogenost metala, ako se radi o vlačnim naprezanjima. Manje se to primjećuje pri opterećenju na savijanje.

Djelovanje prethodno pretrpljelih deformacija ili različitih operacija toplinske obrade različito utječe na smještaj kritične zone jer upravo toplinska obrada različito djeluje na teksturu metala.

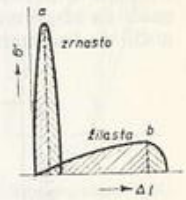
11.213.3 Radnja žilavosti

Prikažimo prijelom metala pomoću radnje na jedinicu površine! Poznato je da se kod metala s plošno centriranom rešetkom područje lomljivosti ne pojavljuje ni pri najnižim temperaturama pa rezultate ispitivanja možemo jednostavno izraziti utrošenom radnjom na jedinicu površine prijelomnog presjeka.

No nije tako kod metala s prostorno centriranom i s heksagonskom rešetkom, gdje apsolutna vrijednost žilavosti još ne otkriva da li se ispitivalo u području lomljivosti ili žilavosti. U prvom slučaju bio bi prijelom zrnast, u drugom gladak i zagasit. Mora se, dakle, utvrditi o kakvom se izgledu prijeloma radi. Ako je prijelomna površina djelomično žilastog, a djelomično zrnastog izgleda, znači da je ispitivanje palo u kritičnu zonu pa nam rezultati ništa ne govore. Treba usporedivati samo zrnaste prijelome sa zrnastima, žilaste sa žilastima. »Udrobljene« rezultate nema opće smisla procjenjivati.

Ramotrimo područje žilavosti i lomljivosti pomoću dijagrama radnje!

Na 36 prikazani su odnosi za dva različita metala, od kojih je jedan puknuo zrnasto (slučaj a), drugi žilasto (slučaj b). Ispitani su pod jednakim uvjetima. Za apscisu je uzeta deformacija (produžetak, tj. put Δl), a za ordinatu naprezanje ($\sigma = F/A$). Kako se radi o jediničnim presjecima (A = 1), odinata će označavati silu. Svaka površina nastalog dijagrama značit će radnju (sila × put) deformiranja i prelamanja štapa, tj. njegovu žilavost.



36 Dijagram radnje za zrnasti (a) i žilasti (b) lom

Ako se dobiju dvije jednake površine, znači da oba materijala imaju jednaku **apsolutnu** veličinu žilavosti. To, međutim, još ne znači da su oba metala jednako otporna prema udarcima. To se vidi iz toka krivulja. Za vrijeme uzlaznog dijela krivulje naprezanja rastu u prvom dijelu uglavnom linearno, što odgovara elastičnim deformacijama, a zatim sporije — do stanovitog maksimuma. U tom drugom lijevom dijelu nastaju plastične deformacije uz poznatu pojavu **očvršćivanja,** s povećavanjem naprezanja sve do spomenutog maksimuma. Površina ispod tog dijela krivulje odnosi se, dakle, na radnju koja se troši (uglavnom) za plastične deformacije. U momentu koji odgovara tjemenu krivulje dolazi do prve pukotine, koja se zatim širi do potpunog prijeloma. To znači opadanje naprezanja do nule (silazni dio krivulje). Materijal a ima, dakle, **malu** deformaciju Δl, pa kažemo da je lomljiv.

Krivulja b vrijedi za žilav materijal. Naprezanja ne mogu mnogo porasti jer metal plastično popušta. Deformacije rastu to brže, dakle s položitijom krivuljom uzlaza, sa znatno nižim maksimumom i razmjerno naglim silazom. Znatno je veća površina ispod uzlazne nego ispod silazne krivulje, dok su u slučaju a oba dijela približno jednaka. Koji je metal povoljniji? To se odmah vidi iz desne krivulje, kod koje znatno veći dio radnje otpada na deformaciju nego na trganje. To znači da taj metal može veći dio nametnute radnje **apsorbirati** još prije maksimuma, a to daje mogućnost da se nešto »odgodi« prijelom. Takvo je presretanje loma vrlo poželjno pri udarnim opterećenjima koja se ostvaruju upravo izborom žilavih materijala. (Vidi stavak 11.211.) Nakon pojave pukotine (u trenutku maksimuma) metal ionako više nije interesantan.

Pri jednakim rezultatima u pogledu apsolutne žilavosti i pri jednakim uvjetima ispitivanja imat će, dakle, prednost metal sa žilastim izgledom prijeloma, i to ne samo zbog veće iskoristivosti njegove žilavosti već i zato što u jednakim uvjetima nije ušao u područje lomljivosti.

To je, dakle, glavna razlika između metala zrnastog i žilastog prijeloma.

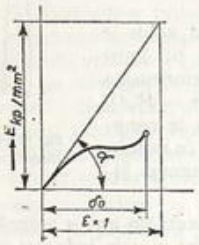
11.214 Elastičnost

U prvoj fazi opterećivanja metal se rasteže (razvlači) prema Hookeovu zakonu (vidi nauku o čvrstoći). Ako u bilo kojoj tački tog područja rasteretimo pokusni štap, on će izgubiti svoje produženje, tj. poprimit će prvobitnu dužinu. To znači da je metal elastičan, pa i za produženja kažemo da su elatična. Hookeov pravac (područje proporcionalnosti) odgovara, dakle, ujedno i području elastičnosti, gdje se naprezanje može izraziti formulom:

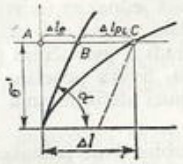
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ kp/mm}^2$$

Tu je E tzv. Youngov modul, češće nazvan **modulom elastičnosti.** ε je procentualni produžetak. Ako postavimo $\varepsilon = 1$ (što znači produžetak štapa 100%, tj. za njegovu vlastitu prvobitnu dužinu), E će biti naprezanje koje bi takav štap morao podnositi da se produži za 100% i vrati na prvobitnu dužinu. (Za metale to nije izvedivo.) Grafički to vidimo prikazano na ㊲.

Eksperimenti pokazuju da Hookeov pravac ima različit nagib za različite metale. To znači da se prema tome nagibu mijenja i veličina modula elastičnosti pa je to jedna od uočljivih karakteristika materijala. Ako metal već u početku opterećivanja ne pokazuje



㊲ Modul elastičnosti u vezi Hookeovim zakonom



㊳ Elastična i plastična deformacija

linearnu ovisnost između σ i ε, moći ćemo naći modul elastičnosti jednostavno konstrukcijom tangente na krivulju u ishodištu. Takva tangenta korisna nam je još zbog toga jer razdvaja elastične deformacije od plastičnih. Na primjer, odsječak AB na ㊳ je **elastičan** dio, dok odsječak BC pokazuje plastičan dio deformacije.

Prema tome, metali imaju to veći modul elastičnosti što je početak krivulje strmiji. Evo nekoliko vrijednosti za E kod poznatijih metala:

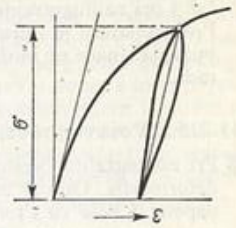
Metal	E kp/mm²	Metal	E kp/mm²
Sivi liv	~10 000	Bakar	12 500
Fe (čisto)	21 200	Mjed	10 500
Meki čelik	21 700	Volfram	41 570
Tvrdi čelik	20 000	Cink	9 400

Za ostale metale (čiste) vidi 11.52 — tablicu 1.

U praksi se metal nikad ne opterećuje do tih vrijednosti jer on već pri nerazmjerno nižim naprezanjima napušta linearnu zakonitost deformacije, i to kod tzv. **granice elastičnosti.** Ako se štap i dalje opterećuje, zapazit ćemo sve brži porast produženja. Nestalo je proporcionalnosti između tih veličina, Hookeov zakon pravca više ne vrijedi. Djelomična elastičnost postoji, dakako, i dalje. To se vidi ako rasteretimo štap, koji se ipak skrati, ali ne na svoju prvobitnu dužinu. Jedan dio deformacije zaostaje i zove se **plastičnom** (tj. nepovratnom) deformacijom. Skraćenje štapa sada se dobiva isprekidanom crtom, paralelnom Hookeovu pravcu ⑨.

To znači da se produžetak 0—2 (u opterećenom stanju) smanjuje na 0—1 (u rasterećenom stanju), dakle za veličinu 1—2. Dužina 0—1, kako se vidi, prikazuje trajno produženje, koje je ostalo i nakon rasterećenja. (Podsjetimo ukratko da taj dio trajne deformacije pokazuje početak popuštanja šipke, koje će se odvijati prema procesu prikazanom u stavku o monokristalima. Uza sve to naprezanja rastu i dalje jer su opterećenja, potrebna za nastavak deformacije, sve veća.) Prisutnost elastičnosti pri daljnjem opterećenju metala, unatoč sve jače izraženim plastičnim deformacijama, primjećuje se pri prije opisanom očvršćivanju (stavak 11.214.3).

Prilikom rasterećenja pokusnog štapa ne gube se plastične deformacije po krivulji paralelnoj Hookeovu pravcu, niti se deformacije pri novim opterećivanjima ne drže tog pravca. To se tumači »histerezom« prema ㊴. Razlog tome je elastičnost koja je još zaostala u metalu pa zapliće situaciju. Treba ponoviti da elastične deformacije po svojoj prirodi prate svaki porast naprezanja iz kojih su nastale, i to praktički istodobno, tj. brzinom zvuka. Uslijed nehomogenosti naprezanja u pojedinim kristalitima (vidi stavak 11.214.4) u njima nastaju dodatne napetosti koje sprečavaju da se elastična deformacija ostvari do kraja. Dio deformacija se na taj način ostvaruje tek naknadno, nakon dužeg ili kraćeg vremena, što zavisi od vrste metala, stupnja nepravilnosti njegove građe i vanjskih uvjeta. To naknadno ostvarivanje dijela elastične deformacije zovemo zaostatkom elastičnosti (histerezom).



㊴ Histereza elastičnosti

11.215 Puzavost

11.215.1 Pojmovi

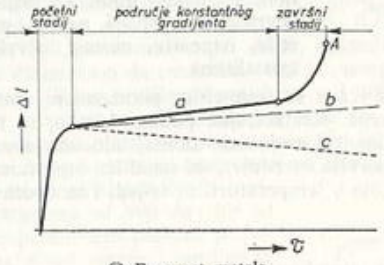
Puzavost je svojstvo metala da mu pod konstatnim opterećenjem tokom vremena **raste** deformacija. Taj porast može se pojavljivati i pri prosječnim naprezanjima, manjim od granice elastičnosti.

Poznato je da pri **kratkotrajnom** opterećenju metali za svako određeno opterećenje pokazuju odgovarajuću veličinu deformacije. Do granice elastičnosti nastaju uglavnom samo elastične deformacije. Pri dugotrajnom opterećenju, međutim, događa se da deformacija s vremenom polagano raste, ne samo kod većih opterećenja već i kod onih ispod granice elastičnosti. To je zapravo mehaničko popuštanje metala.

㊵ prikazuje opći slučaj puzavosti. Apscisa prikazuje vrijeme, a ordinata deformaciju (bilo produženje, bilo skraćenje), uz konstantno opterećenje i konstantnu temperaturu. Za **vrijeme** treba, dakako, kazati da ono traje često nerazmjerno duže nego što se uopće može prikazati.

11.215.2 Faze deformiranja

Na ㊵ vidimo da prvi stadij deformacije nastaje prilikom opterećivanja s naglim usponom (gradijentom) deformacije, razmjernim ili nerazmjernim, kako je to već poznato iz kratkotrajnih ispitivanja otpornosti.



㊵ Puzavost metala

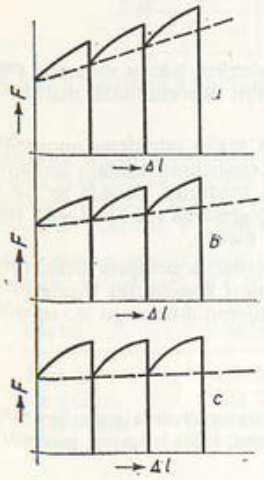
Druga faza je stadij konstantnog uspona (gradijenta a ili b), odnosno katkad i pada (dekrementa c) puzanja.

Treća faza, prikazana nastavkom prema crti a, označuje eksponencijalni tok puzavosti (do točke A), što je ujedno završni stadij deformacije prije prekida metala a. Za slučaj

metala b gradijent je već u drugoj fazi manji, pa je pitanje da li će uopće doći do završnog stadija, odnosno prekida. Napokon, metal c je uopće negativan u tom pogledu i za nj taj problem ne postoji. Logično je da se konstrukcija ne smije nikad opteretiti toliko da bi čak i pri najdugotrajnijem radu nastupila treća faza, koja neminovno dovodi do prekida. Problematičan je i drugi stadij, pa moramo za svaki metal dobro poznavati karakteristike puzanja. Inače ne možemo izabrati opterećenje koje se još smije dopustiti u dugotrajnom radu.

11.215.3 Pojave očvršćenja

Pri razmatranju čvrstoće naveli smo pojavu očvršćenja, do kojeg dolazi zbog plastičnih deformacija. Ono je zasnovano na smanjenju pravilnosti rasporeda atoma u rešetki, uz napetosti koje su s tom pojavom povezane. To je vrijedilo za kratkotrajno opterećenje; pa i ponovno opterećenje je uslijedilo **odmah** nakon rasterećenja, tj. bez pauze. Pri ponovnom opterećenju deformacija je tekla također elastično, kao pri prvom opterećenju, ali samo dotle dok nije bilo postignuto ono naprezanje pri kojem je štap bio rasterećen u prvom stadiju. U tom trenutku počnu se pojavljivati nove **plastične** deformacije, s kontinuiranim usponom. To znači da popuštanje metala teče uz kontinuirano očvršćavanje.



41 Očvršćenje metala uslijed plastičnih deformacija

Ako bismo, međutim, pri takvim ispitivanjima rasterećivali šipku, i ostavili je rasterećenom pa je opet opteretili **nakon** stanovite pauze, dobili bismo rezultate prema 41.

Slučaj a na toj slici prikazuje kratke pauze, npr. 1 sat. Vidimo da očvršćenje nije potpuno, tj. elastična deformacija je prestala prije nego je postignuto naprezanje s kojeg je u prethodnoj fazi bilo izvršeno rasterećenje. Razlika $\Delta\sigma$ je ovisna upravo o dužini pauze, što se vidi još na primjeru b, kod kojeg je pauza trajala npr. mjesec dana, i na primjeru c (godinu dana).

Pauze, dakle, bitno smanjuju očvršćenje, štaviše, u krajnjem slučaju ga i ukidaju. To znači da se plastična deformacija pojavljuje pri istom naprezanju kao i pri prvom opterećenju (slučaj c). Dužina tih pauza zavisi od vrste metala (npr. za cink je kraća nego za čelik).

Očvršćenje nastalo zbog plastičnih deformacija s vremenom se, dakle, gubi. U rasporedu atoma se prilikom očvršćenja u stvari, naime, smanjuje red. Povećanjem reda, naprotiv, nestaje očvršćenje, pa i napetosti u kristalitima.

Red među atomima povećava se stanovitim pomicanjem atoma, npr. putem difuzije, ako ima dovoljno vremena. Kratkotrajne pauze, dakako, to ne omogućuju, dok duže pauze omogućuju difuziju, tj. sređivanje atoma, odnosno obaranje očvršćenja. Iako se struktura pri tome **oporavlja** (sređuje), sa stajališta otpornosti to je **oslabljenje.** Budući da difuzija ovisi bitno o temperaturi, to vrijedi i za oporavak: on ovisi i o vremenu i o temperaturi.

11.215.4 Nehomogenost strukture

Nehomogenost kristala objašnjava činjenicu da do puzanja može doći i pri naprezanju nižih od granice razvlačenja. Ovdje se, naime, misli na **srednje,** tj. prosječno naprezanje u metalu. Pojedini kristaliti polikristala nisu jednako zahvaćeni djelovanjem vanjskog opterećenja, već to zavisi od njihove orijentacije, od broja kliznih smjerova itd. To znači da su oni nehomogeno (nejednako) napregnuti, pa naprezanja nisu jednaka, niti u pojedinim kristalitima niti u kristalitima kao cjelinama. Ono, dakle, što smatramo jediničnim naprezanjem samo je **prosječno** naprezanje za čitav presjek štapa (nazivno naprezanje). Štaviše, i neko granično naprezanje, npr. granica elastičnosti, zapravo je dotična granica za čitav razmatrani štap, a ne samo za neki pojedini kristalit. Ovamo su ubrojena, dakle, i mjestimična povećanja (npr. na kristalitnim granicama) i oslabljenja (povećani red). Ta nehomogenost znači, prema tome, da su neki kristaliti (djelomično ili u cjelini) napregnuti i većim naprezanjima od prosječnog naprezanja štapa, pa postoji mogućnost da nazivno, tj. prosječno naprezanje na takvim mjestima bude prekoračeno, a to je povod za plastičnu deformaciju, tj. za očvršćenje tih kristalita. Pri kratkotrajnom ispitivanju to se očvršćenje ispoljava, naravno, još u većoj vrijednosti prosječne granice elastičnosti za čitav štap, prema stvarnoj granici elastičnosti pojedinog monokristala (vidi stavak 11.212.13). Naprotiv, pri dugotrajnom opterećenju javlja se utjecaj oporavka koji djeluje oslabljujuće, tj. snizuje materijalu granicu elastičnosti, a to ima za posljedicu naknadno popuštanje.

Neujednačenost strukture stavlja, dakle, konstruktora i tehnologa pred veliku nepoznanicu, koja može završiti kobnim posljedicama.

11.215.5 Bitnost oporavka

Vidjeli smo da tokom deformacije neravnomjerno prevladavaju i očvršćavanje i oslabljivanje. Pri prevladavanju očvršćavanja deformacija jenjava, a pri prevladavanju oslabljivanja ona se pojačava. Gradijent deformacije ima, dakle, različitu veličinu. U linearnom (tj. prvom) stadiju on je razmjeran svladavanju otpornosti metala. Plastične deformacije očvršćuju ga, no uslijed kratkoće vremena nema ni oporavka (tj. oslabljivanja). U drugom stadiju istodobno nastupaju i oslabljivanje i očvršćenje, u nekom konstantnom međusobnom odnosu, pa se gradijent uspinje kao konstanta.

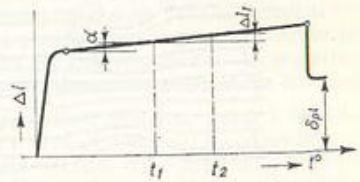
Ako dođe i do trećeg stadija, gradijent postaje progresivan (ako je bio pozitivan) i vodi do loma. Za to područje karakteristična je pojava kontrakcije u obliku vrata (suženja) uz direktno svladavanje otpornosti, kao posljedica dotadašnjeg puzanja.

Za puzavost je, dakle, od osnovne važnosti spomenuti proces oporavka, a to je difuziona pojava zavisna od raspoloživog vremena i temperature. Veličina puzanja ovisi osim toga još o opterećenju, dakle o tri veličine.

Treći stadij (eksponencijalan uspon) treba, dakako, isključiti jer vodi neminovnom lomu. Treba, dakle, odrediti dovoljno nisko granično opterećenje koje neće dovesti do nedopustivih deformacija.

11.215.6 Skraćena ispitivanja

Istraživanje konkretnih slučajeva puzanja može biti dugotrajno, osobito kod metala visokog tališta, što je neracionalno i praktički neprimjenljivo. Kod tih metala tek nakon 1 000 sati ispitivanja dobivamo produženje od 0,001 do 0,1 mikrona. Za naše mjerne instrumente s tačnošću $\pm 0{,}2$ mikrona to je, dakle, neizmjerljivo. Da bismo skratili postupak, koristimo se činjenicom da puzavost ovisi i o temperaturi pa je ispitujemo u zagrijanom stanju metala. Time postižemo rezultate u 1 000 do 100 000 puta kraćem vremenu. Ako je takav metal uz to još namijenjen radu pri povišenim temperaturama, ispitivanje će direktno odrediti puzavost pri odnosnoj radnoj temperaturi. Tada neće ni doći do skraćivanja, već će se ispitivanje protegnuti na čitavo vrijeme upotrebne sposobnosti (npr. u plinskim turbinama, reaktivnim motorima itd. na temperaturama od 900 do više od 1 000°C). Pri višim temperaturama puzanje je pojačano. Pokusni štap se stoga zagrije i zagrijan se opterećuje konstantnim vlačnim silama. Ujedno se tokom stanovitog vremena mjeri (ekstenzometrom) njegov produžetak. To obično traje 200 ili 1 000 sati, katkad i 72 sata.



42 Granica puzavosti metala

Rezultati se mogu ocijeniti na tri načina 42.

— Prvo, može se odrediti prirast dužine (ekstenzometrom) nakon nekog vremena, utvrđenog dogovorom, npr. između 25 i 35 sata nakon početka ispitivanja.
— Drugi način sastoji se u određivanju tangensa kuta koji u dijagramu čini pravac produženja s horizontalom, i to pošto je postignut konstantan prirast.
— Najzad, može se pokusni štap nakon određenog vremena rasteretiti, pri čemu se epruveta naglo skraćuje (**elastična** deformacija) pa se mjeri to skraćenje. Preostala **plastična** deformacija dobiva se onda računski (odbijanjem).

Kod prva dva način (Δl i tg α) imamo granice puzanja izražene putem brzine puzanja, a u trećem slučaju putem **ostatne** (plastične) deformacije δ_{pl}.

Praktički smije čelik puzati za 10^{-6} do 10^{-8} mm/mm ili 10^{-4} do 10^{-6}% na sat, odnosno 10 do 0,1% na 100 000 sati.

11.216 Klonulost

11.216.1 Pojam

Klonulost je pojava plastičnog produživanja opterećenog štapa kod koje istodobno dolazi i do koncentriranog sužavanja šipke. To nastupa u zadnjoj fazi opterećivanja, pri kojem opterećenje obično već pada, šipka je klonula i približava se prekidu. Deformacija koja nastaje u tom području naziva se obično plastičnim produženjem klonulosti.

Neki materijali nemaju područja klonulosti jer ne dolazi ni do kakvog koncentriranog sužavanja šipke. To je, na primjer, slučaj kod zakaljenog čelika i sivog liva.

Mjestimična suženja štapa otežavaju očitavanje stvarnih naprezanja u metalu jer se opterećenja raspodjeljuju po smanjenom presjeku. Osim toga, ovdje se aksijalnim naprezanjima pridružuju i radijalna pa je slika još zamršenija.

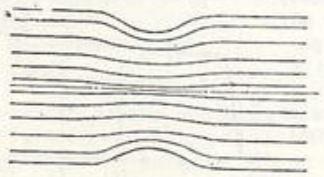
11.216.2 Suština klonulosti

U poglavlju o otpornosti naveli smo da se, općenito, suženje šipke mora očekivati na mjestu neke nehomogenosti koja uzrokuje koncentraciju naprezanja u najbližem okolišu te nehomogenosti. Takva koncentracija naprezanja pospješuje plastične deformacije, dakle i smanjivanje presjeka šipke u toj okolici, pa to stvara vrat na tom mjestu šipke. Pojava vrata uzrokuje sve veću koncentraciju naprezanja na tom dijelu šipke, a to opet ima za posljedicu progresivan porast deformacija na tom mjestu. Time se preostali dio šipke isključuje od daljnjih deformacija pa ostaje tamo presjek jednak onome što je postojao u trenutku prvog znaka klonulosti. Do konačnog prekida deformacije se javljaju samo u području vrata. Katkad se može, zbog veće nehomogenosti, pojaviti vrat i na više mjesta istodobno, no na kraju uvijek prevladava samo jedan od njih.

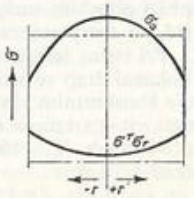
11.216.3 Značaj silnica

Na ⑬ vidimo raspored silnica po uzdužnom presjeku šipke.

U dijelovima s jednoličnim presjekom silnice teku paralelno, i to okomito na poprečan presjek. To znači da je opterećenje ovdje jednosmjerno ili homogeno. U području vrata silnice, međutim, podliježu toliko većem otklonu koliko su dalje od središta presjeka.



⑬ Raspored silnica u fazi klonulosti



⑭ Naprezanja u uzdužnoj (σ_p) i u ostalim (σ_r) komponentama

Njihova je komponenta u smjeru osi šipke zbog toga to manja što je otklon silnica veći. To znači da je uzdužna komponenta silnica σ_u u središtu šipke najveća ⑭, a prema obodu sve manja. Zato rastu prema obodu komponente u ostalim (raznim) smjerovima. (Vidi σ_r.)

Iz dijagrama očitavamo nehomogeno naprezanje šipke. Stupanj nehomogenosti raste prema obodu šipke (prisilno skretanje silnica). S nehomogenošću naprezanja slabi stupanj očvršćenja jer dolazi do izražaja Bauschingerov efekt (vidi stavak o deformacijama monokristala).

U polikristalnom agregatu taj je efekt još izrazitiji jer nastupa i u pojedinom kristalu i s obzirom na cjelinu agregata. U homogenijoj sredini štapa je stupanj očvršćenja veći nego na nehomogenom obodu. U tom slučaju otpornost klizanju premašuje postojeću otpornost trganju, a to znači kraj plastičnim deformacijama, tj. početak trganja. Vidimo da se ta mogućnost mora najprije ostvariti u sredini šipke, gdje je zbog veće homogenosti naprezanja i očvršćenje veće.

11.216.4 Prekid

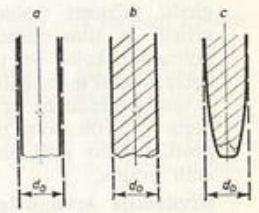
Iz navedenog slijedi da prekid normalno počinje u sredini šipke, i to putem trganja koje se vidi iz prijeloma.

Na obodu, gdje je ostvareno manje očvršćenje, otpornost klizanju nije tolika da bi svladala otpornost trganju, pogotovo kod rastežljivih metala, koji imaju malu otpornost klizanju. To omogućava nastavljanje plastičnih deformacija po kliznim ravninama.

Međutim, budući da je u sredini već ostvaren prekid, takve klizne deformacije moraju također svršiti prekidom. Šipka se po kliznim ravninama konačno rastavlja u dva odlomka, premda na tom obodu nije došlo do onolikog stupnja očvršćenja koji bi sam po sebi doveo do trganja. Time nastaje prijelom u obliku čaške, tipičan za rastežljive metale ⑮. Vrlo rastežljiv metal imat će na prijelomnoj površini velik udio rubnog, kosog, kliznog prijeloma, dok će manje rastežljiv metal prikazivati razmjerno veći udio ravnog, zrnatijeg prijeloma u sredini poprečnog presjeka.

Krajnje rastežljivi metali imali bi duboku čašku (c), čije kose površine sižu do samog središta šipke. U drugom krajnjem slučaju (krhak metal) dobiva se ravna prijelomna površina prema ⑮a jer je otpornost klizanju tolika da i na rubovima premašuje otpornost trganju.

Tok silnica nam u znatnoj mjeri objašnjava takav tok prijeloma.



⑮ Površina prekida kod krhkog (a), srednjeg (b) i savršeno rastežljivog (c) metala

11.217 Tvrdoća

Tvrdoća metala je njegov otpor protiv prodiranja u površinu. Taj otpor zavisi od strukturnog sastava i smatramo ga homogenim (ravnomjernim) ako su pojedine strukturne komponente (faze) dovoljno gusto porazmještene u površinskom sloju. Mjerodavan je samo procentualan odnos sastavnih faza, bez obzira na mikrorazmještaj. U poglavlju o čelicima vidjet ćemo da stanovite faze imaju izrazitu karakteristiku povećavanja tvrdoće.

Kao svojstvo metala tvrdoća ima veliko značenje pri pojavi glođenja, trenja i obradivosti, o čemu je već bilo govora. Konkretne podatke o tvrdoći, mjerenoj na odgovarajuće načine, prikazat ćemo u poglavlju o ispitivanju metala. Ujedno ćemo iznijeti i tabelarnu usporedbu podataka o tvrdoći pri pojedinim metodama mjerenja. O utjecaju pojedinih primjesa i dodataka na tvrdoću čelika vidi u poglavlju 11.331.

11.22 OBRADIVOST REZANJEM

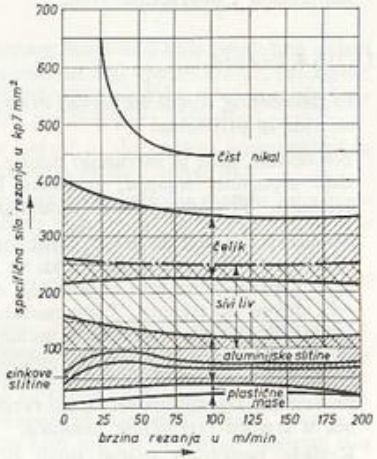
Ponašanje materijala pod djelovanjem reznog alata nazivamo obradivošću rezanjem. To se ne može izraziti jednom jedinom veličinom budući da treba istodobno svratiti pažnju na četiri zahtjeva.

Zahtjevi u pogledu obradivosti

— Obradivost u pogledu izdržavanja oštrice

Obradivost u pogledu izdržavanja oštrice (tj. vremenski raspon izmedu dvaju oštrenja alata) treba da je što dulja. Izdržavanje oštrice promatra se u vezi sa stvaranjem strugotine, i to pri različitim reznim brzinama. Mjera za obradivost je brzina rezanja koja nakon 60 minuta rada zahtijeva oštrenje. U serijskoj i masovnoj proizvodnji može se obradivost ocjenjivati i prema broju **jednako proizvedenih** komada, obrađenih do otupljenja alata. Što je veći taj broj, za iste uvjete strojne obrade, to je bolja obradivost.

Katkad se obradivost procjenjuje bez rezanja, na temelju fizikalnih i tehnoloških svojstava. Tako se, na primjer, pri sivom livu zaključuje na temelju Brinellove tvrdoće.



46 Ovisnost reznih sila o brzini rezanja

— **Veličine reznih sila** potrebnih za strojnu obradu moraju biti što manje. One zavise od vrste materijala. U 46 je dijagramski prikazana ovisnost reznih sila o brzini rezanja, i to za čelike, sivi liv, te za aluminijske i cinkove legure. Radi usporedbe uzete su u obzir i umjetne mase.

— **Kvaliteta obrađene površine** mora zadovoljiti funkcionalno, tj. oblikovno i u pogledu tačnosti (tolerancija). To napose vrijedi za finu obradu (honanje, lepanje, poliranje), kojoj se pridaje sve veća važnost. Razni materijali se različito ponašaju u tom pogledu pa se zadovoljavajuća kvaliteta — s obzirom na određeni metal — postiže samo pažljivim podešavanjem reznih brzina.

— **Stvaranje strugotine** mora biti povoljno, inače nastaju teškoće: pregrijavanje reznog alata, smetnje uslijed duljine ostružaka, opasnost prskanja za oči itd. Zato se — osobito kod alatnih strojeva kod kojih je otežano odvodenje strugotine (revolverske klupe, automati) — zahtijeva lomljenje strugotine na kratke komadiće. Ona ne smije oštećivati ni alat niti stroj, a mora biti i podesna za otpremanje lopatom. U tu svrhu predvidena je posebna vrst čelika podesnih za obradu na automatima. (Vidi tablicu automatnih čelika 11.52—18.)

11.23 FIZIKALNA SVOJSTVA

11.231 Periodički sistem elemenata

Klasična podjela razlikuje **prave metale** od **metaloida** (polovičnih metala).

Za prave metale karakteristična su svojstva gnječivosti, vodljivosti elektriciteta i topline, moć refleksije (površinski sjaj) i moć apsorpcije za svjetlo (neprovidnost).

Metaloidi imaju samo neke od tih odlika, i to u određenim kombinacijama. Zbog različitosti tih kombinacija ne mogu se oštro razgraničiti metali od metaloida.

	I_A	II_A	III_A	IV_A	V_A	VI_A	VII_A	Prijelazni elementi						I_B	II_B	III_B	IV_B	V_B	VI_B	VII_B	$VIII_B$
1	H 10 080																				2 He
2	3 Li	4 Be	5 B	6 C														7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si														15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr			
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 (Ma)	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe			
6	55 Cs	56 Ba	57 71 Rijetke zemlje	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 (Ab)	86 Nc			
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf									
	Metali visokog tališta														Metali niskog tališta						
Rijetke zemlje		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tu	70 Yb	71 Lu						

Lakí metali

47 Periodski sistem elemenata

U 47 vidimo tablicu sličnu onoj što ju je god. 1869. postavio Mendeljejev kao predodžbu, periodskog sistema elemenata, ali preradenu tako da se vidi približna podjela izmedu metala, metaloida i nemetala.

Iz te tablice vidimo da od 98 utvrđenih elemenata samo 76 njih ima metalni karakter. Od ostalog vidimo 6 metaloida i 16 potpunih nemetala.

Suština je tog sistema u tome što se u svakom vertikalnom stupcu nalaze elementi iste valencije, dakle sličnih kemijskih svojstava. Gledajući po horizontalama, nalazimo da one nisu sve jednako popunjene: u prvoj (najgornjoj) samo su dva elementa, u drugoj osam, u trećoj također osam, u četvrtoj i petoj po 18, u šestoj 32* i u sedmoj — izuzetno — 12 elemenata. Za prvih šest horizontala primiječeno je (i u kvantnoj teoriji obrazloženo) da ta popunjenost u stvari predstavlja produkte $2 \cdot 1^2$, $2 \cdot 2^2$, $2 \cdot 3^2$, $2 \cdot 4^2$. Za takav poredak mjerodavna je struktura, a ne atomska težina.

Otprije znamo da je atomska jezgra sagrađena od pozitivno nabijenih protona i nenabijenih neutrona te iz određenog broja elektrona s negativnim nabojem, koji se kreću oko jezgre i imaju ukupnu nabijenost (tj. ukupan broj naboja) jednaku nabijenost jezgre (ravnoteža). Nabijenost jezgre odgovara **rednom broju** elementa u Mendeljejevoj tablici (od 1 do 98). Elektroni su rasporedeni oko jezgre u (zamišljenim) ljuskama, i to u njihovu sve većem međusobnom razmaku. Prva ljuska K (najbliže jezgri) zaposjednuta je sa dva atoma, druga L sa osam, treća M sa 18 i četvrta sa 32 elektrona. Tim »ljuskama«, dakle, odgovaraju tzv. glavni kvantni brojevi n = 1, 2, 3, 4, koji nastupaju kao baze u spomenutim potencijama.

Osnovna je težnja elektrona da se pomaknu u najniže moguće energetsko stanje, tj. u stanje što nižeg kvantnog broja, dakle što bliže jezgri. Zato su unutarnje »ljuske« uvijek temeljitije ispunjene elektronima — predstavljaju, dakle, **stabilnija** stanja od onih s većim n.

Iskustvo je, međutim, pokazalo da stabilna stanja **ne** djeluju na svojstva metala jer su uglavnom uravnotežena, dakle bez vanjskih pobuda, tj. bez težnje za nekim promjenama.

* Pribrajajući »rijetke zemlje« iz najdonjeg reda tablice

Da bi se postigla stabilnost, dovoljno je da se u najvišim podljuskama ispuni osam elektronskih mjesta. To potvrđuje primjer inertnih plinova koji su izrazito stabilni pa se zbog svoje »nulte« valencije ne spajaju ni s kojim elementom.

Treba upozoriti da naša tablica ne tretira elemente rednog broja od 90 naviše, uključiv rijetke metale, jer ta područja još nisu pouzdano određena. Elementi su nanizani redom prema broju elektrona u cjelokupnom elektronskom roju, tj. na svim njegovim »ljuskama« i »podljuskama«, koji sumarno drže ravnotežu s nabojima atomske jezgre.

Za neke »podljuske« je karakteristično da pripadaju raznim ljuskama istodobno — spadaju, dakle, u »prijelaznu« skupinu (vidi u sredini tablice gore). Budući da im vanjske ljuske nisu ispunjene, smatra se da ti elementi imaju nestabilan karakter.

Napomena. Riječ »ljuska« stavljena je u navodne znakove jer je to samo zamišljena **staza** elektrona, koja predstavlja njihovo energetsko stanje, mjerodavno za stupnjevanje odnosa elektrona prema jezgri atoma.

11.232 Magnetska svojstva

U poglavlju 47.43 prikazane su pojave **feromagnetizma** koje imaju danas veliko praktično značenje, napose u elektrotehnici. S obzirom na svrhu koja se postavlja u pojedinim slučajevima, za gradnju aparata, instrumenata i strojeva, danas se u pogledu magnetskih svojstava zahtijeva izbor metala koji ćemo ovdje prikazati.

Metali s posebnim zahtjevima u pogledu permeabiliteta pri malim jakostima polja

Njihova je praktična primjena u telefoniji i u mjernoj tehnici, gdje već male sile moraju aktivirati odgovarajuće mehanizme. U suštini se traži najviši mogući početni permeabilitet i visok permeabilitet u početnom području, sve do njegove maksimalne vrijednosti, s garantiranim intenzitetom porasta. S druge strane, javlja se i potreba što konstantnijeg permeabiliteta u početku, eventualno povezano sa zahtjevom da remanentni magnetizam (vidi krivulju histereze) bude što manji (zahtjev stabiliteta).

Metali visoke zasićenosti

Oni su neophodni kod magnetski visoko opterećenih dijelova (kotve, relei itd.). Većinom se traže istodobno i male koercitivne sile kako bi zadovoljile mali uzbudni kapacitet i da bi se feromagnetska jezgra pri isključivanju polja mogla do maksimuma razmagnetizirati.

Metali s malim gubicima i sa što višom indukcijom

U praksi su to magnetske legure primijenjene u gradnji električnih generatora, transformatora i motora (limovi).

Metali s visokom indukcijom i čvrstoćom

To su metali s visokom indukcijom i čvrstoćom za elektrotehniku jake struje s obzirom na visoke centrifugalne sile u rotorima itd.

Metali s visokom koercitivnom silom i remanencijom

Upotrebljavaju se za izradu trajnih magneta u opće i specijalne svrhe.

Metali s određenim temperaturnim koeficijentom magnetiziranja

Primjenjuju se u gradnji mjernih instrumenata i uređaja, ondje gdje je određeni stupanj magnetiziranja od osobite važnosti.

Konkretne podatke o magnetskim limovima za elektrotehniku vidi u tablici 11.52-6, kao i tekst poglavlja 11.361!

11.233 Toplinska svojstva

11.233.1 Toplinsko rastezanje

Pod utjecajem temperature sva izotropna tijela mijenjaju svoj volumen; pri grijanju se šire, a pri hlađenju se skupljaju, i to prema formuli:

$$V_1 = V_0 [1 \pm 3\alpha (\delta_1 - \delta_0)]$$

Analogno za **dužinska** rastezanja (žice, trake itd.) vrijedi:

$$l_1 = l_0 [1 \pm \alpha (\delta_1 - \delta_0)]$$

odnosno za **površinska** rastezanja (limovi, ploče, plaštevi):

$$A_1 = A_0 [1 + 2\alpha (\delta_1 - \delta_0)]$$

gdje se indeks 0 odnosi na početna stanja, tj. prije temperaturne promjene, a $\delta_1 - \delta_0$ znači dotičnu temperaturnu razliku. Koeficijent toplinskog rastezanja α očitava se (za čiste metale) iz tablice 11.52-1, iako ne ovisi samo o vrsti metala, već i o temperaturi.

11.233.2 Toplinska vodljivost

Toplinska vodljivost je količina topline (Q) koja u 1 sekundi ($t = 1$) prostruji kroz materijal presjeka 1 cm² ako u smjeru okomitom na taj presjek dobijemo na dužini od 1 cm porast temperature od 1°.

Dakle:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot \frac{\delta_1 - \delta_0}{l} \cdot t$$

Tu je A površina presjeka u cm², l je dužina promatranog štapa, dok je t vrijeme u sekundama. Istodobno je λ koeficijent toplinske vodljivosti koji zavisi od materijala. Za čiste metale može se očitati iz tablice 11.52-1.

Značenje toplinske vodljivosti metala je veliko pri prijenosu većih količina topline (preko kotlovskih podnica, zagrijevnih cijevi, rashladnih uređaja itd.); nadalje ondje gdje treba naglo odvesti toplinu. Isto je pri hlađenju raznog alata prilikom rada, pri termičkoj obradi, te pri opreznom (tj. laganom) grijanju i hlađenju radi izbjegavanja unutrašnjih napetosti i pukotina.

U literaturi se navode razni načini za izračunavanje λ. Kod nelegiranih čelika na sobnoj temperaturi najčešće zadovoljava formula:

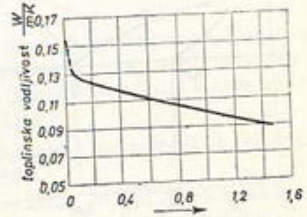
$$\frac{1}{\lambda} = 5{,}744 + 2{,}432\,\mathrm{C} + 5{,}087\,\mathrm{Si} + 2{,}461\,\mathrm{Mn}$$

koja vrijedi za 0,1 — 1,5% C, <0,2% Si, <0,5% Mn s tačnošću približno 5%. Tačni i su proračuni zasad manje pristupačni.

Za legirane čelike raspolažemo u literaturi s nekoliko dijagrama.

Utjecaj strukture na toplinsku vodljivost metala vrlo je značajan. Donaldson je naveo za ferit da je $\lambda = 0{,}18$, za perlit da je 0,12 i za Fe_3C 0,02. Toplinska obrada utječe pretežno u ovisnosti o temperaturama, kako se vidi na 48 za nelegirane čelike (1,14% C, 0,12% Si, 0,21% Mn).

Primijećeno je da popuštanje povisuje λ. Stvaranje kristala mješanaca oslabljuje ga, a njihov raspad pojačava ga.



48 Toplinska vodljivost nelegiranih čelika pri 20°C

Legirani dodaci općenito smanjuju λ, ali ne proporcionalno, već sve manje, kako raste količina dodataka. Tako manje djeluje drugi ili treći legirni element ako je dodan inače u istoj količini. Napose snažno djeluju Al i Si, a W samo neznatno. Kobaltni čelici (s malim % C) u malim količinama smanjuju, a u velikim količinama povećavaju toplinsku vodljivost. Tabelarne vrijednosti za neke čiste metale vidi u tablici 11.52-1.

Ostali utjecaji uglavnom su vezani uz druga fizikalna svojstva. Predmnijeva se da λ ovisi o specifičnom električnom otporu, i to obrnuto proporcionalno (približno), te o apsolutnoj temperaturi izravno proporcionalno (približno). Ispitivanja su u toku. Pouzdaniji su podaci o utjecaju feromagnetizma.

Empirijski je za temperaturnu ovisnost postavljena formula:

$$\lambda = \frac{0{,}625 \cdot 10^{-8}}{\rho} \cdot T + 0{,}006$$

gdje se ρ izražava u Ω · cm (om · cm), λ u kal · cm^{-1} · °C^{-1} · s^{-1}, a temperatura T u °K (kelvina).

11.233.3 Prijelaz topline

Prijelaz topline određuje se pomoću srednje vrijednosti za koeficijent toplinskog prijelaza α (vidi nauku o toplini).

Za razne materijale i medije na koje toplina prelazi postoje različite vrijednosti za α. Praksa danas već obiluje mnogim empirijskim formulama za proračunavanje te vrijednosti, već prema mediju koji graniči s metalom. (Vidi npr. Arnold: Der Apparatebau 1959, str. 34—38. i dr.)

11.3 ŽELJEZO I ČELIK

11.31 SISTEM SLIJEVANJA Fe — C

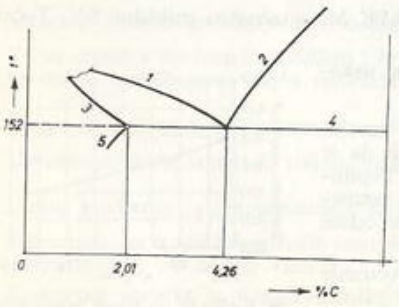
11.311 Primarna kristalizacija

Od svih elemenata koji se spajaju sa željezom najvažniji je ugljik jer mu daje glavne karakteristike. Zato ćemo razmotriti najprije taj slučaj, tj. slitinu željeza i ugljika.

11.311.1 Stabilna ravnoteža

Stabilnu ravnotežu imamo pri neizmjerno sporom hlađenju (u praksi: dovoljno sporom hlađenju).

Za promatranje su interesantne one slitine Fe—C, koje sadržavaju otprilike do 7%C, no u praksi ga nema nikad iznad 5%, pa ćemo izostaviti sve što je iznad toga. Također nećemo zasad uzeti u obzir ekstremno niske koncentracije ugljika, tj. krajnju lijevu stranu dijagrama, jer i takav bi čelik bio u praksi neupotrebljiv uslijed male čvrstoće i tvrdoće. Ostaje nam, dakle, središnji dio dijagrama prema ①. Kako vidimo, radi se o eutektičkoj slitini, koja ima eutektički sastav pri 4,26% C (tačnije 4,258% C), pri temperaturi t_e = 1 152° C. Granica rastvorljivosti ugljika u mješancima γ željeza je pri koncentraciji 2,01% C (prije se smatralo 1,5%).



① Središnji dio dijagrama Fe—C

Kristalizacija počinje na likvidus-liniji *l* stvaranjem primarnih mješanaca željeza i ugljika s **plošno** centriranom rešetkom željeza kao rastvarača. Metalografi su te kristale označili sa γ.

Ti kristali će uvijek nastajati ako koncentracija taljevine nije veća od 4,26%. Prve klice imaju koncentraciju manju od izvorne koncentracije, a očitava se na solidus-krivulji (3) za određenu temperaturu. Daljnjim padom temperature, koncentracija γ-kristalima se povećava duž solidus-linije. Ako je izvorna koncentracija manja od 2,01%, kristalizacija prestaje u momentu kad temperatura padne do točke koja čini sjecište vertikale putem koncentracije sa solidus-krivuljom. γ kristali imaju u tom momentu koncentraciju jednaku izvornoj koncentraciji slitine. Sve je kruto, taljevine više nema, a γ-kristale nazvat ćemo primarnim kristalima.

Ako je riječ o slitini sa sadržajem ugljika 2,01%, skrućivanje završava u trenutku kad hlađenjem dođemo do temperature u kojoj vertikala s apscise 2,01 siječe solidus-krivulju. Sva se krutnina tada sastoji od primarnih γ-mješanaca s koncentracijom promatrane slitine.

Ako, međutim, promatramo slitinu veće koncentracije od 2,01% C, ohlađivanu do eutektičke temperature od 1 152°C, nastupit će osim primarne kristalizacije γ-kristala i kristalizacija eutektikuma. Za γ-mješance već znamo da uvijek imaju koncentraciju manju od koncentracije taljevine iz koje nastaju. Preostatku taljevine stoga raste koncentracija sve više. Što se tiče kristala, γ-mješanci će postići granicu rastvorljivosti ugljika kod 2,01%, a preostatku taljevine porast će istodobno koncentracija na 4,26%. To dovodi do toga da preostala prezasićena taljevina počne razvijati, pored γ-mješanaca, još jednu novu krutu fazu, i to kristale od **čistog ugljika** s **heksagonskom** rešetkom. U njima ima 100% ugljika. Znamo već da takvo istodobno nastajanje dviju krutih faza (γ-mješanaca i ugljikovih kristala) znači pojavu **eutektikuma.** Taj se eutektikum sastoji od sitnih eutektičkih γ-mješanaca i eutektičkih kristala ugljika. U stvari imamo, dakle, već tri vrste kristala: primarni γ-mješanci, eutektički γ-mješanci i eutektički kristali ugljika. Ima li slitina još veću koncentraciju, tj. iznad 4,26% C, onda već u stvari prevladava ugljik, pa stvara »primarno« svoje vlastite heksagonske kristale s koncentracijom 100% C. Time taljevina postaje siromašnija na ugljiku, pa njezina koncentracija s padom temperature pada sve do koncentracije 4,26% C. Tada i za desnu stranu dijagrama na eutektičnoj temperaturi nastaje eutektička kristalizacija jer je taljevina postala prezasićena željezom i ona osim ugljikovih kristala (koji, dakle, više nisu primarni jer nisu sami) stvara još i γ-mješance. Temperatura kristalizacije još je uvijek 1 152°C pa se ovdašnja solidus-linija poklapa sa solidus-linijom na lijevoj strani dijagrama. U svemu imamo u momentu završetka kristalizacije na eutektičnoj temperaturi tri vrste kristala: primarne kristale ugljika, eutektičke γ-mješance i eutektičke kristale ugljika. Potonje dvije vrste opet ukratko zovemo eutektikumom.

U slučaju ako slitina sadržava upravo 4,26% C, neće uopće biti primarnih kristala, ni jednih ni drugih, nego će slitina ostati rastaljena sve do eutektičke temperature (1 152° C i tada će početi da istodobno stvara γ-mješance i ugljikove kristale. Nastaje eutektikum sa samo dvije vrste kristala: sitni kristali ugljika i sitni γ-mješanci.

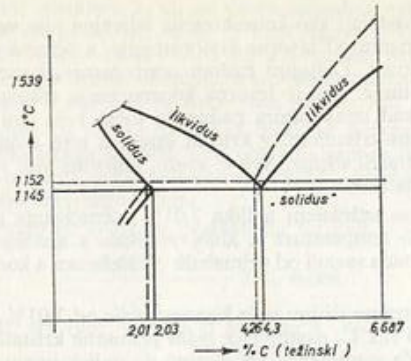
Taj se ugljik inače naprosto taloži na primarne kristale ugljika pa oni postaju još krupniji.

11.311.2 Metastabilna (nepotpuna) ravnoteža

Taj slučaj nastupa pri bržem hlađenju, kad se ugljik ne može na vrijeme odvojiti od željeza i stvarati svoje samostalne kristale. Umjesto toga zatečeni se ugljik tada prisiljava na novu kombinaciju, i to na **kemijski spoj** Fe_3C (željezni karbid), u kojem uvijek ima 6,687% ugljika. To znači atomsku koncentraciju 25% C.

Time nastaje mnogo kompliciranija rešetka od dosadašnjih, i to rompskog sistema. Kristali željeznog karbida Fe_3C stoga su vrlo tvrdi i krhki.

Budući da u praksi nema slitina s više od 5% C, nećemo nikad doći ni do težinske koncentracije 6,687%, pa se metalografi uglavnom zadovoljavaju tim lijevim dijelom dijagrama. U čemu su razlike između stabilne i metastabilne ravnoteže? To vidimo ako oba dijagrama nacrtamo zajedno ②.



② Ravnoteža: stabilna (crtkano) i nestabilna (pune linije)

Crtkani dijelovi dijagrama odnosit će se na potpuno stabilnu ravnotežu (tj. uz vrlo sporo ohlađivanje), a pune crte na normalnu (tj. uz brže ohlađivanje), što znači metastabilnu ravnotežu. Karakteristična razlika vidi se na crti eutektičke kristalizacije: pri bržem hlađenju ugljik se nije dospio osamostaliti pa se zato kemijski spaja u Fe_3C. No i to se ne događa baš momentano, već u nekom kraćem vremenskom razmaku, koji je, međutim, dovoljan da se temperatura dospije spustiti na nešto nižu vrijednost (1 145° umjesto 1 152°). To smatramo zakašnjenjem kristalizacije. S time u vezi se i granica rastvorljivosti nešto pomakne udesno (od 2,01 na 2,03%), pa također i eutektička koncentracija (od 4,26 na 4,3%). U tim novim granicama skrućivanje teče na isti način kao pri stabilnom razvijanju primarnih γ-mješanaca, koje počinje na likvidus-temperaturama i svršava na solidus-temperaturama. Ako je izvorna koncentracija manja od 2,03%, na solidus-temperaturama će se krutnina sastojati samo od primarnih γ-mješanaca. Analogno ćemo, idući na veće koncentracije, tj. desno od 2,03% C, naići na nove tvorevine. Ohlađivanjem taljevine ispod likvidus-crte dobivat ćemo i nadalje γ-mješance, kao primarne, s koncentracijom koja se očitava na solidus-krivulji. Kako znamo, one su uvijek manje od izvorne koncentracije slitine koju promatramo pa u taljevini ostaje toliko više ugljika. Kad ohlađivanjem dođemo na temperaturu 1 145°C, prestaju se stvarati primarni γ-mješanci. Mali pomak udesno (prema prijašnjem slučaju) dolazi uslijed pothlađenja (1 145° umjesto 1 152°C). To isto pothlađenje utječe naravno, i na preostalu taljevinu pa ona zbog niže temperature dobiva na eutektičnoj temperaturi nešto veću koncentraciju od one pri stabilnom skrućivanju (4,3 umjesto 4,26% C). Situacija je pri temperaturi 1 145°, dakle, ova: primarni γ-mješanci su po solidus-crti došli na granicu rastvorljivosti, no oni sadržavaju mnogo manje ugljika nego preostala taljevina, čija koncentracija iznosi 4,3%. Iz preostale taljevine stvaraju se sitni kristali eutektikuma, γ-mješanci koncentracije 2,03% i kristali željeznog karbida Fe_3C koncentracije 6,687%.

Kako vidimo, solidus-crtu u čitavom tom području, tj. na temperaturi 1 145° C čini horizontala koja je karakteristična za **eutektikum** (kao i u stabilnom slučaju).

Za koncentracije između 2,03% i 4,3% ugljika imamo u nastaloj krutini ove faze:

— primarni γ-mješanci
— eutektički (sitni) γ-mješanci
— eutektički kristali željeznog karbida

} eutektikum.

Slitina koncentracije 4,3% C ima veliku odliku u niskom talištu (najniže mogućem).

Za koncentraciju ugljika od 2,03% do 4,3% je, dakle, karakteristično pojavljivanje željeznog karbida i γ-mješanaca (primarnih — krupnih i eutektičkih sitnih).

To ipak ne vrijedi i za eutektičku koncentraciju 4,3% C! Tamo nema primarnih kristala, koji uvijek nastaju u području **između** likvidus-crte i solidus-crte, već se taljevina direktno skrućuje u eutektikum. Kako otprije znamo, broj klica je pri tako niskoj temperaturi već tolik da ćemo imati samo sitnu strukturu: γ-mješance i željezni karbid koji nastaju istodobno. Slitina će se, dakle, sastojati samo od dvije vrste kristala pa ima specijalan naziv »eutektička slitina«, i to ovog sastava: mješanci γ imat će u momentu završetka skrućivanja (1 145°C) koncentraciju, maksimalne rastvorljivosti (2,03% C), a kristali željeznog karbida, kao uvijek, sastav od 6,687% C.

Razmotrimo još skrućivanje pri koncentracijama većim od 4,3%.

Za koncentracije veće od 4,3% pojavit će se zbog prebrzog ohlađivanja željezni karbid Fe_3C, u kojem ugljik sa željezom stvara kemijski spoj.

Željezni karbid, dakle, nastupa samostalno kao da je to jedan element, a za nj vrijedi sve ono što smo pri stabilnom skrućivanju inače pripisivali ugljiku (osim malih odstupanja). Možemo, dakle, reći: Za koncentracije veće od 4,3% pratimo između likvidus-crte i solidus-crte nastajanje primarnih kristala Fe_3C s koncentracijom (uvijek) 6,687% C. Preostatku taljevine se stoga s padom temperature smanjuje i sadržaj ugljika.

Spuštajući se niz likvidus-crtu ulijevo, doći ćemo, kroz sve niža skrutišta, i do najnižeg, tj. kod 1 145°C. Taljevina se za čitavo to vrijeme osiromašivala ugljikom jer se on sav trošio na stvaranje kristala željeznog karbida. Napokon će ona imati još samo 4,3% C, a to se događa upravo na temperaturi od 1 145°C.

Dalje se ta igra ne može nastaviti jer je ohlađivanje već preveliko da bi se taljevina mogla održati. Na svojoj netom spomenutoj granici (1 145°C, 4,3% C) ona je prisiljena da prijeđe u kruto stanje, stvarajući i ovdje sitne eutektičke kristale željeznog karbida i eutektičke γ-mješance. Ovi potonji imaju pri tome koncentraciju maksimalne rastvorljivosti, tj. 2,03% ugljika, dok kristali željeznog karbida (i primarni i eutektički) imaju (konstantnu) koncentraciju kemijskog spoja Fe_3C, tj. 6,687% C.

Koncentracije karbida očitavamo tako da sa solidus-crte spustimo okomicu na apscisu (6,687%). Kako je sličan slučaj nastupao i na lijevoj strani dijagrama, tj. tako da smo sastav γ-mješanaca (nastalih iz te krajnje faze taljevine) očitavali ulijevo, idući horizontalom, vidimo da je to sve zapravo jedna te ista horizontala, tj. crta koja se poklapa s eutektičkom temperaturom. Solidus-crta je, dakle, ravna sve do koncentracije 2,03% C) do kraja, tj. do 6,687% C.

Strukturni sastav krutine, desno od koncentracije 4,3% je, prema tome, ovaj:

— primarni (krupni) kristali željeznog karbida
— eutektički (sitni) kristali željeznog karbida
— eutektički (sitni) kristali γ-mješanaca

} eutektikum.

Kao uvijek, γ-mješanci imaju 2,03% ugljika, a Fe_3C ima 6,687% C.

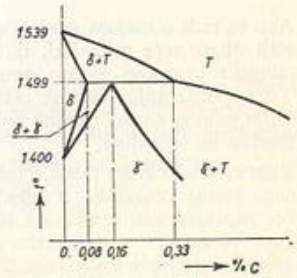
11.311.3 Slitine s vrlo niskim sadržajem ugljika

Krajnju lijevu stranu dijagrama dosad smo zanemarivali jer je to željezo s vrlo niskim sadržajem ugljika, koje se u strojarstvu gotovo ne primjenjuje. Na ③ vidimo da u tom području nastupaju alotropske modifikacije:

δ-željezo s **prostorno** centriranom kubnom rešetkom

δ-željezo s **plošno** centriranom kubnom rešetkom.

To su sve, dakako, mješanci. δ-željezo ima svoje značenje samo rijetko (npr. pri lijevanju i zavarivanju, no i ondje samo prolazno).



③ Krajnja lijeva strana dijagrama Fe—C

11.312 Sekundarna kristalizacija

Kristalizaciju koja nastaje ohladivanjem do solidus-crte smatrali smo primarnom, a isto tako i nastalu strukturu. Pri daljnjem hlađenju nastaju, međutim — u samoj krutini — nove pojave, koje mogu temeljito izmijeniti strukturu. Te promjene u »gotovoj« krutini zovemo **sekundarnom kristalizacijom,** koja dovodi do sekundarne strukture.

11.312.1 Stabilna ravnoteža

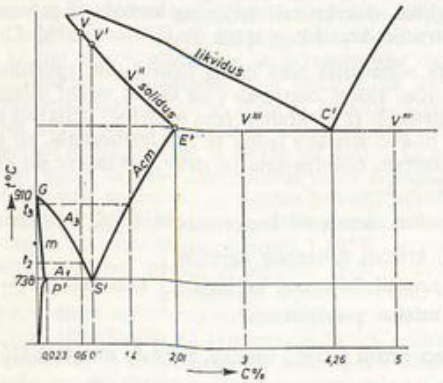
U slučaju **stabilne** ravnoteže (vrlo sporo hlađenje) **sami** su se **primarni** kristali pojavljivali do koncentracije 2,01% C. No pri višim koncentracijama pridružili su im se eutektički γ-mješanci i kristali ugljika. Onaj dio ugljika koji je uspio kristalizirati se u čistu heksagonsku rešetku daje idealan rezultat time što postiže potpuno stanje ravnoteže. Pri daljnjem hlađenju taj se dio primarne strukture više ne mijenja.

Preostali dio primarne strukture, tj. γ-mješanci, međutim, nije još stabiliziran. To su kubne, **plošno** centrirane rešetke s maksimalnom mogućom koncentracijom 2,01% C, koje pri daljnjem hlađenju, dakle, susreću određene promjene i u pogledu koncentracije i u pogledu alotropije (pretvorba u prostorno centriranu kubnu rešetku).

11.312.11 *Produženje niskih koncentracija ugljika*

Pratimo opet sve to preko Fe—C dijagrama. Uzmimo najprije stanje V! ④

Na solidus-liniji skrućivanje je završeno. Krutina se sastoji od primarnih γ-kristala.



④ Fe—C dijagram za stabilnu ravnotežu

Ako se radi o malom postotku ugljika, npr. 0,6%, onda se uslijed ohladivanja takvi kristali dugo neće mijenjati, tj. sve do temperature t_2. Ugljikovi atomi ušli su u međuatomske praznine plošno centrirane kubne rešetke γ-mješanaca dok su se oni stvarali. To popunjavanje željezne rešetke zaslužuje posebnu pažnju jer se već prilikom uključenja jednog atoma ugljika pojavljuje **distorzija** rešetke. Padom temperature parametar rešetke se smanjuje.

Vitoperenje rešetke postaje toliko intezivno da se nadolaskom samo jednog »prekomjernog« atoma pojavljuje u još slobodnim međuatomskim prostorima u najbližem okolišu već zaposjednutih praznina toliko **izobličenje** stijena rešetke da se više ne može primati još neki novi atom. Ako se, na primjer, u sredini kocke uključio neki atom ugljika, to već znači (pri toj nerastežljivosti na toj temperaturi) toliku smetnju da se ne mogu zaposjesti ni najbliža (i teoretski najprikladnija) mjesta za uključivanje na raspolovnicama stranica kocke. U najboljem slučaju atomi ugljika zaposjednu samo svaku treću kocku γ-rešetke.

Pri daljnjem hlađenju (ispod točke V) rešetka se još steže, uslijed čega rešetka γ počinje ispuštati jedan mali dio ugljika, no, to se, npr. kod 0,6% C, još stvarno ne primjećuje pa γ-mješancima ostaje koncentracija neizmijenjena sve do temperature t_2.

Tada, naime, dolazi do alotropske modifikacije: γ-mješanci pretvaraju svoje kristale u prostorno centriranu rešetku. Kad bi se ovdje radilo o čistom željezu, ta pretvorba izvršila bi se kod 910°C (vidi ④, točku G), kako smo već čuli u stavku o polimorfiji. Naši kristali, međutim, nisu od čistog željeza pa zahtijevaju stanovito pothlađenje da bi se pretvorili u α-mješance. Iako pretpostavljamo vrlo sporo ohladivanje (stabilnu ravnotežu), ipak možemo sa sigurnošću računati da će do tog pothlađenja doći dovoljno brzo. Sjetimo se razloga: prostorno centrirana kubna γ-rešetka raspolaže mnogo manjim međuatomskim prazninama za uključivanje stranih atoma nego plošno centrirana α-rešetka, a to ide u prilog boljoj toplinskoj vodljivosti mase, dakle bržem ohladivanju.

Utvrđeno je da α-rešetka ima u stabilnoj ravnoteži maksimalnu rastvorljivost ugljik pri koncentraciji 0,023% C (težinski), dakako tek pri odgovarajućem pothlađenju, tj na temperaturi 738°C ④. Ako su ta pothlađenja manja, bit će i rastvorljivost za taj slučaj sve manja, tj. pri temperaturi 910°C bit će jednaka nuli. Ako tu ovisnost aproksimiramo pravcem m (proporcionala), ovaj će se sjeći s horizontalom temperature t_2 i to će sjecište pokazati **rastvorljivost** ugljika u α-mješancima. Kako vidimo, ona je vrlo malena kad se usporedi s prijašnjom rastvorljivošću u γ-mješancima. Još je važnija spoznaja da se pretvorba γ-mješanaca u α-mješance može potpuno ostvariti samo ako postoji dovoljna **difuzija**; a to će biti slučaj ako je **hlađenje dovoljno sporo** i ako uklonimo neke druge smetnje koje bi smanjivale moć difuzije.

Za γ-mješance u tom području treba imati na umu da nisu posve zasićeni ugljikom; ovaj je u istoj rešetki uključen negdje gušće, a negdje rjeđe. Za pretvorbu iz plošne u prostorno centriranu rešetku povoljnija su baš mjesta s manje ugljika. Da bi se takva mjesta stvorila, treba da se iz rešetke iseli nešto ugljika (»višak«), tj. sve ono što je iznad dotične granice rastvorljivosti. Tada su stvorene mogućnosti difuzije.

Prvi α-mješanac, otcijepljen od γ-mješanca pri temperaturi t_2, ima koncentraciju koja se očitava na pravcu m. Preostali dio γ-mješanca obogati se na taj način ugljikom pa mu koncentracija poraste iznad one izvorne, tj. iznad 0,6% C.

To se ponavlja, tokom hlađenja, u sve većem opsegu: sve veći udio γ-mješanaca pretvara se u α, dok se nepretvorenom ostatku γ-mješanaca koncentracija povećava. Konačno, na temperaturi 738 (± 3)° C, α-mješanci stignu do **granice rastvorljivosti,** koja pri sporom ohladivanju iznosi 0,023% C, dok su se s druge strane γ-mješanci toliko obogatili ugljikom da dobivaju koncentraciju 0,68% C. I α-mješanci i γ-mješanci postaju time zasićeni, a preostatak γ-mješanaca, koji se više ne mogu pretvarati tim putem, pridobiva i dalje na ugljiku, pa slitina pribjegava stvaranju samostalnih kristala ugljika. Posljednji preostatak γ-mješanaca s koncentracijom 0,68% raspada se u α-mješance i heksagonske kristale ugljika, oboje u sitnim zrncima.

11.312.12 *Pojava eutektoida u željeznim slitinama*

Ta pojava podsjeća na stvaranje eutektikuma, ali se odigrava u posve krutom stanju pa se zove **eutektoidom** (skraćeno »-id« — pojava). Temperatura od 738° smatra se stoga **eutektoidnom temperaturom,** a postotak 0,68% C **eutektoidnom koncentracijom.**

Nakon eutektoidne pretvorbe krutina se sastoji, dakle, od slijedećih faza:

- primazni α-mješanci s graničnom koncentracijom 0,023% C
- eutektoidni α-mješanci „ „ „
- kristali slobodnog ugljika s koncentracijom 100% C. Potonje dvije faze zajedno nazivamo ugljičnim eutektoidom.

Uvedimo još oznake za crte $\overline{GS'}$ i $\overline{P'S'}$. Prva se u metalografiji obilježava s A_3, a znači početak pretvorbe γ-mješanaca u α-mješance, dok za drugu uzimamo oznaku A_1, a znači **raspad** preostatka γ-mješanaca u ugljični eutektoid. Krivulju koja najavljuje pojavu »cementita«, označujemo sa Acm. Između A_1 i A_3 postoji još jedna granica, i to u pogledu magnetičnosti: plošno centrirana kubna rešetka γ-mješanaca uvijek je paramagnetična (slabo magnetična), bez obzira na temperaturu. Ispod 760°C, međutim, slitina postaje feromagnetična (jako magnetična). Razumije se da će magnetičnost neke slitine Fe—C ispod 760°C ovisiti o udjelu α-mješanaca u strukturi.

Sve te slitine sa sadržajem ugljika do 0,68% zajednički zovemo **podeutektoidnim** područjem.

Daljnjim ohlađivanjem smanjuje se rastvorljivost ugljika u α-mješancima, pa dolazi do novog »izbacivanja« ugljika iz rešetke (tercijarni ugljik), ali, gledano količinski, to nije spomena vrijedno. Ipak nas to upozorava da će pri stabilnoj ravnoteži i pri normalnoj temperaturi sav ugljik napokon biti uklonjen pa ćemo praktički imati čiste kristale željeza, bez obzira na to da li su primarni ili eutektoidni.

11.312.13 *Nadeutektoidno područje*

Za koncentracije između 0,68% i 2,01% C kaže se da čine **nadeutektoidno** područje. Na ④ je uzet primjer za 1,4% C, koji odgovara skrućivanju u tački V''. Kad ohlađivanjem dođemo na crtu S'E', odnosno na temperaturu t_3, γ-mješanci će početi da izlučuju onu količinu ugljika za koju bude prekoračena granica rastvorljivosti Acm. Idemo li sve niže, bit će i sve više tog ispuštenog ugljika, koji stvara nove tzv. **sekundarne** kristale (C''). Time γ-mješanci postaju sve siromašniji na ugljikovim atomima. Ohlađivanjem mase na 738°C, γ-mješancima se koncentracija (koja se ispod temperature t_3 uvijek očitava na pravcu S'E') smanji na 0,68% C, pa se oni raspadaju u ugljični eutektoid ($\alpha^{1d} + C^{1d}$). Nakon potpunog ohlađenja bit će, dakle, u nadeutektoidnom području faze $C'' + (\alpha^{1d} + C^{1d})$.

Što se tiče težinskog sastava, svi kristali ugljika (C'' i C^{1d}) imaju koncentraciju 100%, a eutektoidni α-mješanci: na eutektoidnoj temperaturi 0,023% C, a na sobnoj temperaturi praktički 0%.

11.312.14 *Podeutektičko područje*

To područje čine slitine sa 2,01 do 4,26% C. Razmotrimo koncentraciju 3% C! Primarna kristalizacija završava u točki V''', i to u sastavu $\gamma' + (\gamma^e + C^e)$. Kristali ugljika se više ne mijenjaju, dok su γ-mješanci pri daljnjem hlađenju prisiljeni da otpuštaju ugljik koji će se u sitnim zrncima jednostavno **taložiti na eutektički ugljik.** I taj je, dakle, »dodatni« ugljik sekundarnog karaktera nastao drugostepenim izlučivanjem. Time γ-mješanci postaju siromašniji na ugljiku, tj. sve do koncentracije 0,68% C, pri 738° C. Tada se oni raspadnu u ugljični eutektoid, sastavljen od eutektoidnih α-mješanaca i eutektoidnog ugljika.

Strukturni sastav podeutektičkog područja je, dakle, ovaj:

$$C^e + C'' + \underbrace{(\alpha^{1d} + C^{1d})}_{\text{eutektoid}}$$

11.312.15 *Eutektikum*

Specijalan slučaj je **eutektična** slitina sastava 4,26% C, koja se nakon skrućivanja (C', ④ sastoji od eutektičnih γ-mješanaca koncentracije 2,01% C i kristala ugljika 100% C) tj. $(\gamma^e + C^e)$. Pri daljnjem hlađenju dolazi do raspadanja γ-mješanaca pa na kraju imamo kao prije:

$$C^e + C'' + (\alpha^{1d} + C^{1d})$$

s koncentracijama kao u predašnjem slučaju.

11.312.16 *Nadeutektično područje*

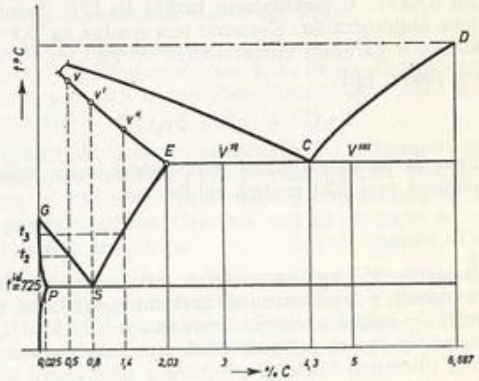
To je područje slitine željeza s više od 4,26% ugljika. Odaberimo koncentraciju 5% C, za koji se primarna kristalizacija završava u točki V'''', s fazama $C' + (\gamma^e + C^e)$. Ugljik se i ovdje daljnjim hlađenjem više ne mijenja (sporo hlađenje — stabilna ravnoteža!). Iz γ-mješanaca pak nastaje nakon raspada sastav analogan dosadašnjem:

$$C' + C^e + C'' + (\alpha^{1d} + C^{1d})$$

tj. primarni, eutektički i sekundarni ugljik, te ugljikov eutektoid sastavljen od α-mješanaca i eutektoidnog ugljika. Svi ugljikovi kristali i ovdje čine koncentraciju 100% C, a α-mješanci na eutektoidnoj temperaturi (738°C) 0,023% C, dok pri normalnoj temperaturi ti mješanci praktički nemaju ugljika. Kako se vidi, pri sporom hlađenju uvijek dobivamo na kraju α-mješance i kristale ugljika (različitog postanka).

11.312.2 Metastabilna ravnoteža ⑤

Razmotrimo ukratko još slučajeve koji nastaju pri **ubrzanom hlađenju** slitine (metastabilna kristalizacija). Umjesto slobodnog (čistog) ugljika ovdje dobivamo kemijske spojeve, tj. željezni karbid Fe_3C. Uz to imamo pothlađenja, koja nešto pomiču granice modifikacije udesno, odnosno prema dolje (vidi razliku između crtkanog dijagrama i punih crta ②).



⑤ Fe—C dijagram za metastabilnu ravnotežu

11.312.21 *Podeutektoidno područje* (< 0,8% C)

Ovdje počinje prekristalizacija γ-mješanaca tek na temperaturi t_2, i to u kubno centrirane α-mješance. Oni mogu sadržavati vrlo malo ugljika (maksimalno 0,025% C), pa preostatku nepretvorenih γ-mješanaca raste sadržaj C sve do koncentracije 0,8% C (granica rastvorljivosti na eutektoidnoj temperaturi), pri čemu počne raspadanje γ-mješanaca u **karbidni eutektoid,** koji se sastoji od eutektoidnih α-mješanaca i eutektoidnog željeznog karbida, tj. $\alpha^{1d} + Fe_3C^{1d}$.

Kad je taj proces posve završen, sastav krutine će biti:

$$\alpha' + (\alpha^{1d} + Fe_3C^{1d})$$

Koncentracija tih kristala poznata nam je: α-mješanci (primarni i eutektoidni) sadržavaju 0,025% C, a željezni karbid — s obzirom na svoj kemijski postanak — 6,687% C.

Pri daljnjem ohlađivanju α-mješancima se koncentracija smanjuje na 0,000 000 2% C (pri sobnoj temperaturi), što znači praktički čisto željezo α.

Struktura je na sobnoj temperaturi, dakle: $\alpha' + (\alpha^{id} + Fe_3C^{id})$, a to su:

- primarni α-mješanci
- eutektoidni α-mješanci
- eutektoidni Fe_3C (željezni karbid)

} karbidni eutektoid.

11.312.22 *Eutektoid*

Specijalan slučaj eutektoidne slitine (0,8% C) ne poznaje primarnih α-mješanaca jer nema promjene na γ-mješancima od kojih bi se oni izdvojili. Što je s točkom S na eutektoidnoj temperaturi 723 (±2)°C? Ovdje se slitina (γ-mješanci) raspadne u karbidni eutektoid sastavljen od α^{id} i Fe_3C^{id}, sve u vrlo sitnim zrncima. I taj se sastav strukturalno praktički ne mijenja sve do sobne temperature, tj. ostaje nam sve do kraja karbidni eutektoid $\alpha^{id} + Fe_3C^{id}$.

11.312.23 *Nadeutektoidna slitina*

Uzmimo za primjer koncentraciju 1,4% C, koja se sastoji na solidus-crti od samih γ-mješanaca s upravo tom koncentracijom. Prilikom ohlađivanja nema promjena sve do temperature t_3, tj. do pravca $\overline{SE}$, koji označuje granicu njihove rastvorljivosti. Iz mješanaca počinje odvajanje dijelova koji obiluju ugljikom i koji se zatim još nadopune na maksimalnu koncentraciju 6,687% C (sekundarni karbid Fe_3C''). Samim mješancima je pak na taj način smanjena koncentracija. Konačno ona spadne na 0,8% C, a to je povod za raspadanje γ-mješanaca u karbidni eutektoid $(\alpha^{id} + Fe_3C^{id})$.

Struktura slitine će, dakle, biti:

$$Fe_3C'' + (\alpha^{id} + Fe_3C^{id})$$

Za α-mješance znamo da na eutektoidnoj temperaturi imaju koncentraciju 0,025% C, a pri sobnoj temperaturi praktički su bez ugljika.

11.312.24 *Podeutektička slitina*

Slitina s – na primjer – 3% ugljika sastoji se nakon skrućivanja (tj. nakon primarne kristalizacije), od primarnih γ-mješanaca i od karbidnog eutektika, tj. $\gamma' + (\gamma^e + Fe_3C^e)$. I primarni i eutektički γ-mješanci imaju koncentraciju 2,03% C, a Fe_3C^e kao uvijek 6,687% C. Mješancima γ se pri daljnjem hlađenju, dakako, smanjuje rastvorljivost za ugljik, koji se uslijed ubrzanog hlađenja pretvara u sekundarni željezni karbid Fe_3C''. To znači smanjenje ugljika sve dok se – na koncentraciji 0,8% C – oni ne raspadnu u karbidni eutektoid. Konačna struktura sekundarne slitine bit će: eutektički željezni karbid, sekundarni željezni karbid i karbidni eutektoid sastavljen od eutektoidnih α-mješanaca i eutektoidnog željeznog karbida. Ukratko, dakle:

$$Fe_3C^e + Fe_3C'' + (\alpha^{id} + Fe_3C^{id})$$

11.312.25 *Eutektička slitina*

Analogno prijašnjem, slitina sa 4,3% C ima još manje α-mješanaca. Primarnih kristala γ-mješanaca, dakako, nije ni bilo. Sastav je, prema tome:

$$\gamma^e + Fe_3C^e + Fe_3C''.$$

11.312.26 *Nadeutektička slitina*

Za primjer uzmimo opet slitinu s 5% C, koja je nakon **primarne** kristalizacije imala sastav $Fe_3C' + (\gamma^e + Fe_3C^e)$. Pri daljnjem hlađenju mijenja se samo γ-faza, odvajanjem

kristala Fe_3C'', pa joj koncentracija pada sve do 0,8% C, gdje dolazi do raspada u $(\alpha^{id} + Fe_3C^{id})$. Konačan je strukturalni sastav slitine stoga:

$$Fe_3C' + Fe_3C^e + Fe_3C'' + (\alpha^{id} + Fe_3C^{id})$$

s već poznatim koncentracijama pojedinih pribrojnika.

11.312.27 *Maksimalna koncentracija ugljika*

Reda radi osvrnimo se još na granični slučaj sa 6,687% C. To je slitina od čistog željeznog karbida. Primarna se kristalizacija također zbiva kod 1 545°C, no prilikom hlađenja ne dolazi ni do kakvih promjena u krutini (nema sekundarne prekristalizacije).

Ukratko govoreći, kod svih koncentracija metastabilne ravnoteže naišli smo, nakon potpunog ohlađivanja, uvijek samo na dva različita kristalna oblika: na α-mješance i na kristale željeznog karbida.

11.313 Praktični nazivi pojedinih faza

- Mješance α, koji su po svom sastavu gotovo čisti Fe, nazivamo **ferit.** Kristaliziraju u prostorno centriranom kubu pa čine razmjerno rastežljivu (do 50%) i mekanu strukturu (<80 HB). Kontrakcija iznosi do 80%.
- Mješanci γ prozvani su **austenitom** (po Austinu). To su mješanci željeza i ugljika (do 2,3%), a rešetka je plošno centrirani kub. Stoga daje osobito rastežljive kristale. Kod svih temperatura slabo je magnetičan. Postoji samo iznad temperaturne linije A_1, osim izuzetne kvalitete.
- Kristali željeznog karbida čine tzv. **cementit.** To je kemijski spoj s kompliciranom rompskom rešetkom, što praktički znači tvrde i krhke kristale (nedostatak kliznih ravnina). Tvrdoća je 800 HB. Pri normalnoj temperaturi je feromagnetičan. Kod 210° C postaje paramagnetičan. Čvrstoća mu se ne može odrediti jer praktički ne postoje čelici od samog cementita.
- Heksagonske kristale slobodnog ugljika nazivamo **grafitima.** Vrlo su mekani i gotovo bez čvrstoće. U dijagramu se grafit označuje sa g. Parametri su mu: a = 142 Å, c = 3,4 Å. Ta velika razlika uzrokuje slojevitost i slabi povezanost između slojeva. Zato je vrlo kalav. Čvrstoća mu je 2 do 4 kg/cm², tvrdoće je 3–5 HB.

Karbidni eutektikum $\gamma^e + Fe_3C^e$ dobio je ime **ledeburit** (po Ledeburu). Vrijedi zapravo samo do eutektoidne temperature 723° C.

Karbidni eutektoid (0,8% C) susreće se pod tri različita naziva:

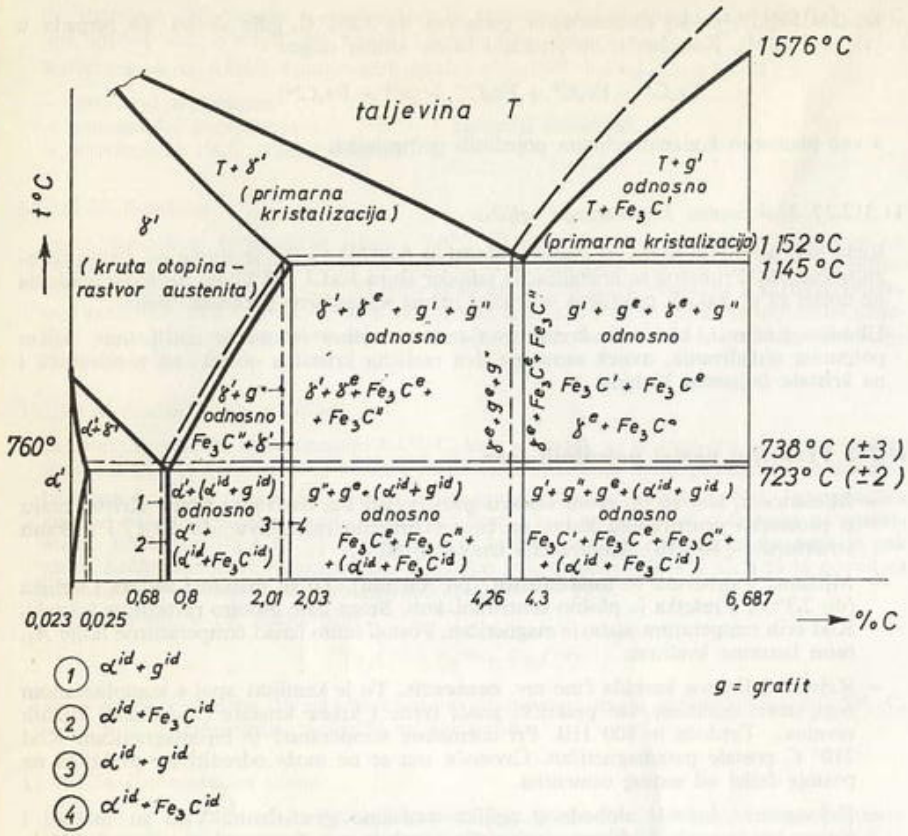
Perlit – sastoji se od gusto ispremiješanog ferita i cementita, ali su svojstva bliža svojstvima ferita jer je ferit količinski ipak premoćan. Kristali pokazuju sedefni odraz kao kod »perla«.

Sorbit – fino prugasta djeljiva perlitna struktura s promjenjivim sadržajem ugljika.

Troostit – fino podijeljeni ferit i cementit – gotovo bez izrazite strukture.

Dijagramski pregled faza

Ponovimo sve navedene prikaze zajedničkim dijagramom pojedinih faza slitina Fe–C, odnosno Fe–Fe_3C, za stabilnu i metastabilnu ravnotežu. Tamo gdje bude samo jedan izraz on će vrijediti i za stabilnu i za metastabilnu ravnotežu (primjer: T + γ). Redovito će prva (gornja) oznaka vrijediti za stabilnu ravnotežu. ⑥.



① $\alpha^{id} + g^{id}$

② $\alpha^{id} + Fe_3C^{id}$

③ $\alpha^{id} + g^{id}$

④ $\alpha^{id} + Fe_3C^{id}$

g = grafit

⑥ Pregled faza u dijagramu Fe—C

11.314 Količinsko određivanje faza

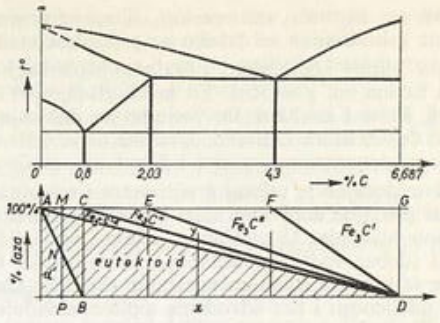
Svojstva čelika mijenjaju se s porastom sadržaja primjesa pa nije dovoljno samo znati **kakve** faze postoje pri izvjesnoj koncentraciji, što smo dosad istraživali, nego treba još utvrditi u kojoj **količini** one nastupaju.

Razmotrimo najprije područje koje najčešće nastupa kod naših čelika, tj. do koncentracije 2,03% C. Tu imamo pri sobnoj temperaturi tri faze: primarni ferit, eutektoid i sekundarni cementit. Koliko ima svake od tih faza?

Postoji vrlo jednostavna dijagramska metoda za takva istraživanja. Ispod Fe—Fe_3C dijagrama, čak i bez određenog mjerila, crta se dijagram faza. Ordinata će — mjerena u postocima — označavati udio faze u cjelini, tj. između 0 i 100% ⑦.

Podatke očitavamo ovako:

Pri koncentraciji 0% C sve je samo primarni ferit (100%), a zatim se on smanjuje do koncentracije 0,8%, gdje posve nestaje, dakle 0% (tačka B). Na spojnici $\overline{AB}$ stoga očitavamo količinu α' pri bilo kojem sadržaju ugljika između 0 i 0,8%.



⑦ Količinski dijagram faza

Iz dijagrama Fe—Fe_3C vidimo da u tom području osim α' ima još eutektoida koji se praktički pojavljuju u slitini odmah nakon koncentracije 0% C, a pri 0,8% već predstavlja svu masu slitine, dakle količinski 100% (točka C). Vidimo da se postotak eutektoida u području između 0 i 0,8% C može očitati bilo za koju apscisu između tih granica tako da količinski udio α' odbijemo od 100% (npr. $\overline{MN} = 100 - \overline{NP}$).

Idući udesno, na dijagramu Fe—Fe_3C nailazimo na nove faze pa eutektoida ima sve manje i tek na koncentraciji 6,687% C nestaje. Spojnica $\overline{CD}$ prikazuje, dakle, to smanjivanje, a okomice iz njezinih točaka prema apscisi pokazuju količinski udio za povoljnu koncentraciju (npr. dužina $\overline{XY}$).

Međutim, za svojstva eutektoida važno je koliko ima u njemu ferita (α^{id}) i koliko cementita (Fe_3C^{id}). Obje te faze pojavljuju se duž čitavog dijagrama. Donji dijagram sasvim jasno pokazuje maksimum eutektoida pri 0,8% C. Površina ACDB može se, dakle, šrafirati kao područje eutektoida, odvojeno spojnicom CD od svih faza cementita (Fe_3C'', Fe_3C^e i Fe_3C'). Ordinate isprugane površine od apscise do spojnice AD prikazuju onda količine **eutektoidnog ferita** (za razliku od primarnog), a iznad te spojnice količine **eutektoidnog cementita.** Vidi se da ferit ima ogromnu premoć, tj. u omjeru 7,4 : 1. Zato ferit nameće eutektoidu svoja svojstva.

Iznad spojnice $\overline{CD}$ prikazani su količinski udjeli slobodnih cementita, npr. **sekundarni cementit** (od 0,8 do 2,03% C). No taj se cementit proteže i desno od 2,03% C, i to sve do 6,687% C. U točki D ga, dakako, više nema (= 0) pa će se za bilo koju apscisu očitavati jednostavno na okomicama s apscise, tj. **između** spojnice CD i slijedeće granične linije ED.

Pri koncentraciji 2,03% pridružuje se eutektički cementit Fe_3C^e. Točka E stoga označuje tek 0% tog cementita. Spojnica s D prikazivat će graničnu crtu pa će se njegov količinski udio analogno očitavati kao okomica od te spojnice prema gore.

Desno od koncentracije 4,3% C pojavljuje se primarni cementit Fe_3C'. Najveći mu je udio, dakako, pri 6,687% C (100%), a onda sve manje, prema točki F, dakle pada duž spojnice FD, gdje napokon iščezava. Očitavanje je analogno prijašnjem.

11.315 Usmjeravanje kristalizacije

Na stabilnost, odnosno nestabilnost skrućivanja može se, osim brzinom, djelovati i određenim **primjesama.** Neke od njih pospješuju izdvajanje grafita pa se zovu **grafitizatori.** Druge, naprotiv, olakšavaju stvaranje cementita, dakle su **cementatori.** Njihovim djelovanjem nadoknađuje se ono što iz praktičkih razloga nije moguće postići samom brzinom ohlađivanja. Na temelju onoga što dosad znamo možemo konkretno reći da su **silicij** i **fosfor** grafitizatori pa će uz njihovu prisutnost i uz prikladnu brzinu hlađenja oni imati nadmoć nad cementatorima, a to će osiguravati stabilnu kristalizaciju slitine.

Mangan i **sumpor** su, naprotiv, cementatori, čijom se prevagom koristimo za postizavanje metastabilne kristalizacije — dakako uz prikladnu brzinu hlađenja.

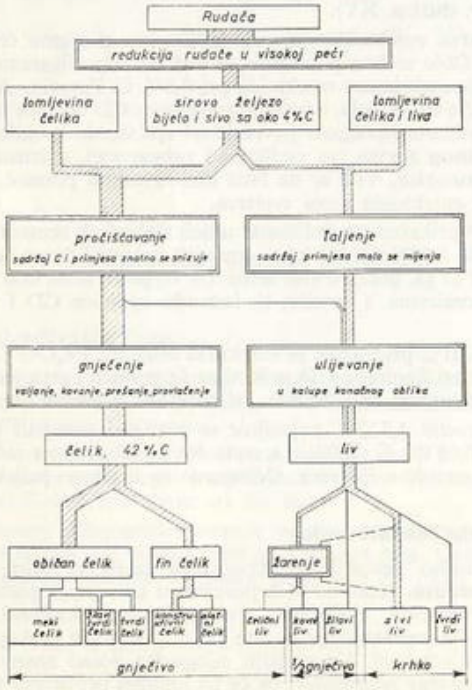
Može se, dakle, sastav slitine kombinirati s brzinom hlađenja, no ipak je glavni čimbenik pri tome **sastav,** a brzina tek pomoćni. To se iskorišćuje pri dobivanju različitih vrsta livova: čelični, sivi, žilavi i kovkasti liv većinom se dobivaju ulijevanjem u pješčane kalupe — hlade se, dakle, istom brzinom. Uza sve to se čelični i kovkasti liv skručuju metastabilno (prevaga cementatora), a sivi i žilavi liv stabilno (prevaga grafitizatora).

Pri tvrdokornom livu slučajno je utjecaj grafitizatora i cementatora podjednak pa se na različitim dijelovima površine dobiva različita kristalizacija, već prema materijalu kalupa koji utječe na brzinu hlađenja. U pješčanom dijelu (loš vodič topline!) omogućena je stabilna, a u kokili (dobar vodič) metastabilna kristalizacija. Osim toga, stabilna kristalizacija pojavljuje se i dublje ispod metastabilno skručene kore jer se ta unutrašnjost, iako u kokili, zbog udaljenosti i bez odvođenja topline, ohlađuje znatno sporije.

11.32 SIROVE I LIJEVANE SLITINE ŽELJEZA

11.321 Postanak tehničkog željeza — čelika

⑧ shematski prikazuje postanak željeznih slitina počev od rudače koja može biti magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), limonit ($HFeO_2 \cdot aq$, odnosno $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), siderit ($FeCO_3$), pirit (FeS_2), te njihovu preradu u tzv. poluproizvode: čelik, čelični liv, kovkasti (»temper«) ili žilavi liv (nodularni liv), sivi i tvrdi liv. Pošto se iz rudače dobije sirovo željezo, proces se cijepa u dvije grane:



⑧ Postanak željeznih slitina

— desna, koja prikazuje jednostavno taljenje, bez znatnih kemijskih utjecaja, čime se dobivaju livovi polugnječivog i negnječivog karaktera;
— lijeva, koja nakon pročišćavanja (s bitnim kemijskim izmjenama) omogućava dobivanje gnječivih poluproizvoda, tj. čelika i čeličnog liva.

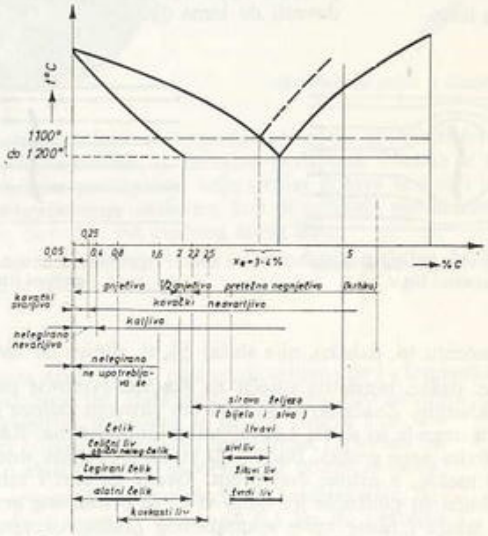
Stanoviti livovi dobivaju se također od pročišćenog željeza (vidi na ⑧ otcjepak udesno, prije faze ulijevanja). To osobito vrijedi za žilavi liv a djelomično i za kovkasti i lijevani čelik.

Lijevanjem se daje traženom predmetu (odljevu) konačan oblik. Inače »pročišćavanje« služi kao priprema za gnječenje (valjanje, kovanje, prešanje, provlačenje itd.). S druge strane, **taljenjem** se dobiju negnječive, ali i neke prilično gnječive vrste.

To su samo najosnovnija tumačenja o postanku raznih željeznih poluproizvoda.

11.322 Podjela Fe-slitina prema Fe—C-dijagramu

Razmotrimo ⑨, gdje vidimo pregled čelika, povezan s Fe—C-dijagramom!



⑨ Područja željeznih slitina prema Fe—C dijagramu

11.323 Osnovna svojstva glavnih željeznih slitina

11.323.1 Sirovo željezo

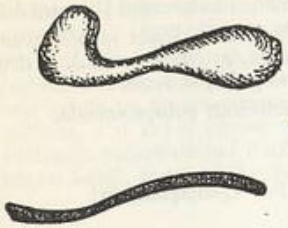
11.323.11 *Bijelo sirovo željezo*

Bijelo sirovo željezo je slitina metastabilne strukture približno eutektičkog sustava (2,2 do 5,0% C). U poglavlju 11.314, ⑦ dolje, vidimo da se sastoji još od eutektoida i slobodnih cementita (sekundarnog i eutektičnog, a eventualno i primarnog) pa je vrlo krhak, tvrd i neobradiv (osim za brušenje). Budući da su eutektoidi i slobodni cementiti (na još neoksidiranom prijelomu) bijelog metalnog sjaja, zovemo ga bijelim sirovim željezom. Mikrosnimka takve slitine prikazana je na ⑩. Vidi se velika količina slobodnog (eutektičnog) cementita ($Fe_3C'' + Fe_3C^e$, odnosno $Fe_3C'' + Fe_3C^e + Fe_3C'$).

⑩ Bijelo sirovo željezo (podeutektično) — 250 × (ledeburit i mješanci perlita + sekundarnog cementita)
Sastav 3,69 C 4,08 Mn 0,79 Si 0,03 S 0,14 P

11.323.12 *Sivo sirovo željezo* sastava ($\alpha^{1d} + g^{1d} + (g^e + g'') + g'$)

Ono nastaje **stabilnom** kristalizacijom, koju omogućuju određeni grafitizatori (vidi stavak 11.315) i najprikladnija brzina hlađenja. Nastali grafit (umjesto cementita) poprima različite oblike pa baš od njih zavise svojstva slitine. Najčešće se pri stabilnoj kristalizaciji razvija **lisnati grafit** ⑪, koji nastaje sam od sebe ako ne poduzimamo nikakve posebne zahvate. Kao takav može djelovati vrlo štetno ili pak gotovo neutralno.



⑪ Oblik grafitnog listića

Ako je grafitni listić smješten okomito na smjer silnica u nekom štapu, npr. pri **vlačnom** opterećenju, on će očito djelovati kao prekid u strukturi šipke. Silnice se neće moći prenijeti izravno s jedne strane na drugu, već će zaobići grafitni listić. Time će preostali dio presjeka štapa biti jače napregnut (gušće silnice) i brže dovesti do loma ⑫.

⑫ Djelovanje vlačnih sila okomito na grafitni listić

⑬ Djelovanje tlačnih sila na grafitni listić

Pri tlačnom opterećenju to, dakako, nije slučaj ⑬, tj. silnice ne zaobilaze listić.

Grafitne uključine, dakle, neznatno utječu na **tlačnu** čvrstoću pa je sivi liv za takva opterećenja to prikladniji. Značajno je da u sivom sirovom željezu ima mnogo veći udio eutektoidnog ferita nego je to slučaj kod metastabilnih sistema. Račun pokazuje da ima oko 22 puta više ferita nego grafita. Budući da su obje ove faze »mekane«, bit će i sirovo željezo razmjerno mekše, s nižom čvrstoćom. Grafit ga čini i krhkim (uslijed listića), napose u nadeutektičnom području jer tamo već ima primarnog grafita u krupnim listićima, na koje se talože i razne vrste sekundarnog grafita, ukrupnjuju na taj način te uključine i time umanjuju čvrstoću. Takvu strukturu prikazuje ⑭, dok podeutektičku strukturu prikazuje ⑮.

⑭ Nadeutektični grafit u željezu

⑮ Podeutektični grafit u željezu

Obje su ove strukture inače podjednako dobre jer ćemo ih ionako još jednom pretaliti da bismo došli do povoljnog sastava za oblikovanje strojarskih predmeta. Prednost ima ipak slitina s **nižim** talištem pa je kao takva povoljnija **eutektička** struktura.

Siva boja je rezultat mješavine bijele osnove i crnog grafita.

11.323.2 Lijevane željezne slitine

11.323.21 *Sivi liv*

Sivi liv (prije zvan »lijevano željezo«) nastaje pretaljivanjem sivog sirovog željeza, uz odgovarajuće dovođenje ugljika. Nastala struktura gotovo se ne razlikuje od one na ⑭ i ⑮. Listići su uvijek od eutektičnog grafita, ali i od sekundarnog. Katkad ima i eutektoidnog grafita, već prema postojećem kemizmu ⑯.

⑯ Sivi (perlitni) liv po Bessemeru 250 ×. Osnova: fini perlit + grafitni listići + fosfidni eutektikum Sastav: vezani ugljik 1,95%, Mn 1,66%, grafit 2,15%, S 0,03%, Si 1,46%, P 0,01%.

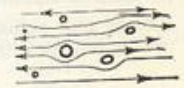
⑯a Pločasti grafit u cijepljenoj slitini

Spretnom primjenom grafitizatora i cementatora može se dobiti feritična, odnosno perlitična osnova, ali i neka srednja, tj. feritično-perlitična. Idealan je pri sivom livu sitnozrnati perlit. Specijalnim postupcima »cijepljenja« dobiva se i sivi liv s pločastim grafitom ⑯a, nazvan **cijepljenom** slitinom, koji se odlikuje povišenom čvrstoćom i manje je krhak, tj. više je rastežljiv od običnog sivog liva.

To je, na primjer, za naš Litostroj, jedna od standardnih slitina. Mehanička i druga svojstva sivog liva vidi u tablici 11.52-2.

11.323.22 *Žilavi liv*

Posebnim postupcima dobiven je u posljednje vrijeme liv i s kuglastim grafitom pa imamo tzv. **žilavi** liv (nodularni liv, sferolitina), koji ima vrlo povoljan raspored uključaka u obliku **grafitnih kuglica,** pri čemu se silnice gotovo i ne deformiraju ⑰. To mu povećava čvrstoću, rastežljivost i žilavost. Uz to ima visok modul elastičnosti, a otporan je i protiv trošenja.



⑰ Grafitne kuglice u žilavom livu

Dobro se lijeva pa se postižu odljevi različite konfiguracije, debljine stijenke 3 do 1 mm, tj. težine od 0,5 kg do nekoliko tona. Naš je proizvođač žilavog liva Željezara Štore. Više o njegovim svojstvima vidi u tablici 11.52-3.

11.323.23 *Čelični liv*

To je karbidna slitina α-ferita i perlita (tj. eutektoida α-ferita i cementita), u kojoj koncentracija ne prelazi 2% C. Uglavnom je podeutoktoidne strukture, no granice mu idu i u nadeutektoidno područje. Talište mu je mnogo više nego pri sivom livu (vidi likvidus-krivulju za te koncentracije). Primjenu ima ipak uslijed svoje gnječivosti (rastežljivosti) pa i žilavosti, tj. otpornosti protiv udarnih opterećenja. Stoga je pogodan za izradu konstrukcija pod dinamičkim opterećenjem, npr. tijela lokomotivskih kotača, obočja vodnih turbina, kućišta vodnih zasuna, ventila itd. i raznih postolja.

⑱ Struktura čeličnog liva

Dobiva se srednje brzim hlađenjem. Struktura mu se poboljšava toplinskom obradom (žarenjem).

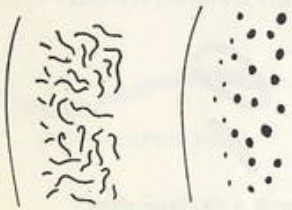
Na ⑱ vidi se strukturni sastav nakon žarenja pri 920°C. Bijela polja predočuju α-ferit. Više o čeličnom livu vidi u tablici 11.52-4.

11.323.24 *Tvrdi liv*

Tvrdi liv nastaje kombiniranom (stabilnom i metastabilnom) kristalizacijom po područjima.

Tvrdokorni liv je iznutra kristaliziran stabilno, a na vanjskoj površini metastabilno, pa ima tvrdu koru (brzo hlađenje). Postoji i varijanta koja je kroz čitav presjek kristalizirana metastabilno pa se zove **bijeli liv.**

Struktura metastabilnog područja istog je sastava kao kod bijelog sirovog željeza: slobodni cementiti i cementitni eutektoid. Ima osrednju čvrstoću i vrlo visoku tvrdoću, a rastežljivosti nema (krhkost — zbog slobodnih cementita zastupanih otprilike sa 50%).



⑲ Tvrdokorni liv sa dva tipa grafita

Stabilno područje je, naprotiv, ispunjeno grafitnim uključcima lisnatog (a danas već i kuglastog) grafita ⑲, a to su karakteristike sivog (odnosno žilavog) liva.

Na slici se vidi da je ta struktura nešto udaljena od ruba, tj. od vanjske površine. Između jednog i drugog područja postoji tzv. **melirana** struktura mješovitog karaktera.

Tvrdi liv je, dakle, prikladan za predmete koji treba da imaju tvrdu površinu (otpornost protiv trošenja). Uslijed žilavosti jezgre predmeti mogu izdržati i dinamička opterećenja. Naprotiv, tanki predmeti većinom su kroz čitav presjek cementitne strukture (dakle bijeli liv). Mogućnost kombiniranja strukture postiže se odgovarajućim dodavanjem grafitizatora, odnosno cementatora i brzinom hlađenja. Osim toga, kod debljih predmeta nutrina sama po sebi ostvaruje stabilnu kristalizaciju uslijed sporijeg ohlađivanja.

11.323.25 *Kovkasti liv*

Zove se još »temper-čelik«, a po sastavu se nalazi između sivog i čeličnog liva. Dobiva se na dva načina.

Lijevanjem se najprije formiraju odljevci takvog sastava kakav omogućava metastabilno skrućivanje. Takvi tvrdi i krhki odljevci ⑳ podvrgavaju se dugotrajnom žarenju, koje ih vraća u stabilno stanje.

Ako se tom prilikom slitini oduzme veći dio ugljika, nastaje **bijeli** kovkasti liv ㉑. U protivnom slučaju dobiva se **crni** kovkasti liv (crni prijelom) ㉒.

⑳ Metastabilni kovkasti liv

㉑ Bijeli kovkasti liv

㉒ Crni kovkasti liv

㉓ Crnojezgreni kovkasti liv

Najčešća je, međutim, kombinacija njegova podvrsta tzv. **crnojezgreni** liv, pri kojem je ugljik oduzet samo iz tankog površinskog sloja, dok unutra ostaje sav ugljik ㉓.

U crnom kovkastom livu zapravo nalazimo i tzv. **žarni grafit,** nastao pri dugotrajnom žarenju, pri čemu se ugljik oslobađa cementitne veze, ali se ne može rasporediti lisnato (jer nema mogućnosti za takvo formiranje) i ferit i perlit. Stoga grafit poprima oblik sitnih čvorića ㉔ u eutektoidu.

㉔ Oblik grafitnog čvorića (žarni grafit)

U bijelom kovkastom livu izvodi se, naprotiv, žarenje u oksidnoj atmosferi, pa ugljik oksidira i ujedno izlazi iz liva. Koncentracija se tom prilikom može smanjiti na eutektoidnu ㉗.

Oksidacija ugljika često ne uspijeva duboko u nutrini odljevka, pa ostane u središtu nešto neoksidiranog ugljika (primjer na ⑭). Stoga bijeli kovkasti liv nije prikladan za debele odljevke (od 15—25 mm).

Sastav im je, dakle, uglavnom perlit, a pri debljim odljevima ima u jezgri i nešto žarnog ugljika.

Crnojezgreni kovkasti liv nastaje pri nedovoljnoj izolaciji (prilikom žarenja crnog kovkastog liva) od zraka pa mu vanjski sloj oksidira, a iznutra sav oslobođeni žarni ugljik ostaje netaknut. Taj je liv, dakle, vrlo jednostavan pa se zato i najviše proizvodi.

Općenito uzevši, kovkasti liv nije krhak jer žarni grafit nema znatnijeg zareznog djelovanja. (Vidi na ㉕ povećanu mikrosnimku crnog kovkastog liva.)

㉕ Žarni grafit u eutektoidu

Čvrstoća je također nešto veća negoli pri sivom livu, no manja od one pri žilavom livu. Struktura mu je, dakle, dvojaka:

— u nutrini: ferit ili perlit + žarni grafit (čvorići)

— na površini: ferit ili perlit.

Nakon žarenja sve su vrste kovkastog liva mekane, razmjerno povoljne čvrstoće i u izvjesnoj mjeri rastežljive (crni više nego bijeli). Stoga podnosi udarce, tj. manje kovačke operacije, probijanje i slično. Zato se opravdano zove kovkastim livom. Univerzalniji je od sivog liva, ima niže talište i lakše mu se obrađuje površina. Međutim, ta slitina nema veće budućnosti jer ga u svemu nadmašuje žilavi liv. Više o kovkastom livu vidi u tablici 11.52-5.

11.33 UTJECAJ NEŽELJEZNIH ELEMENATA

Razmotrit ćemo djelovanje pojedinih kemijskih elemenata na svojstva željeznih slitina.

Najvažniju ulogu ima pri tome ugljik pa ga treba smatrati prvom važnijom komponentom. Zato ga (izuzetno) ne smatramo ni »primjesom« niti »dodatkom« u slitini sa željezom.

11.331 Utjecaj ugljika na mehanička svojstva čelika

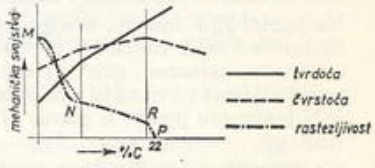
Na svojstva čelika najjače utječu mekani primarni ferit, polumekani eutektoid i tvrdi slobodni cementit (sekundarni eutektički i primarni).

11.331.1 Tvrdoća

Tvrdoća čelika raste najprije od feritne do eutektoidne tvrdoće, i to proporcionalno s porastom količinskog udjela eutektoida, pa ima u početku uspon otprilike jednak s obrnutim usponom pravca AB iz ⑦ poglavlja 11.314.

U drugom dijelu, tj. u nadeutektoidnom području, tvrdoća i dalje raste, ali s manjim intenzitetom ㉖.

U strukturu je, naime, uključen sekundarni cementit, čija količina raste sa znatno manjim usponom (spojnica CD), no u stvari ovdje treba računati s time da ni ferit ni cementit nisu slobodne faze, već gusto ispremiješane, pa to kao cjelina ima stanovitu prosječnu tvrdoću između tvrdoće ferita (ispod 80 HB) i cementita (iznad 800 HB), tj. oko 180 HB — razmjerno sa znatno većim udjelom ferita (7,4 : 1).



㉖ Promjena tvrdoće u ovisnosti o koncentraciji

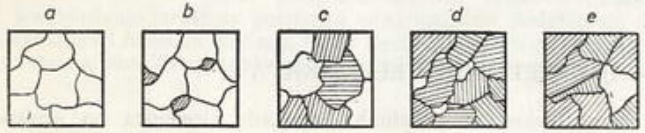
U nadeutektoidnom području tvrdoći doprinosi nova faza, tj. slobodni sekundarni cementit, koji svoju tvrdoću ispoljava posve samostalno pa je porast tvrdoće ovdje razmjeran s njegovim udjelom. Na dijagramu se gotovo ne primjećuje lom krivulje tvrdoće. Javljaju se, doduše, novi cementiti kad idemo udesno, ali oni podjednako djeluju na tvrdoću. Za nju je inače karakteristično da gotovo ne ovisi o rasporedu pojedinih kristala, odnosno kristalita. Ako u strukturi ima tvrđih mjesta, pa makar ona djelovala usamljeno, poput oaza, ona povećavaju otpor zadiranju u površinu, gdje god se takva mjesta nalazila.

11.331.2 Rastežljivost

Rastežljivost čelika ovisi, međutim, ne samo o količinskom udjelu faza već i o njihovu uzajamnom rasporedu. Ne može se, dakle, očekivati čista linearna ovisnost, već zakonitost po kombiniranoj crti. U podeutektičkom području to će biti **krivulja** MN umjesto **pravca** MN. Sve do cca 0,25% C rastežljivost se malo razlikuje od rastežljivosti čistog ferita (0% C). Analogno tome se u okolini eutektoidne koncentracije ona tek neznatno razlikuje od rastežljivosti čistog eutektoida pa se već ispred tačke N krivulja tangencijalno prelijeva u pravac NP. Samo u srednjem dijelu podeutektoidnog područja vidi se linearna zakonitost, što znači da samo ovdje prevladava utjecaj količinskog udjela faza.

Što je uzrok tome?

Razmotrene su mikroskopske snimke za pet karakterističnih slučajeva podeutektoidnog područja, uključivši i same granice 0% i 0,8%, pa se vidjelo da na rastežljivost u velikoj mjeri utječe uzajamni raspored faza. Evo tih snimaka na ㉗.



㉗ Porast koncentracije eutektoida

Mikrosnimka a prikazuje čisti ferit pri 0% C, a snimka b strukturu iz područja do 0,25% C. Eutektoid je u tom slučaju porazmješten bez reda i međusobno veze, poput oaza između kristala ferita, koji je ipak međusobno povezan. Takav eutektoid ne može imati većeg utjecaja na rastežljivost primarnog ferita pa se na ㉖ dio krivulje MN u svom početku tek neznatno spušta. Pri tvrdoći, kako vidjesmo, to nije bio slučaj. Mikrosnimka c prikazuje strukturu iz srednjeg podeutektoidnog područja (ravni dio krivulje MN). Ovdje više nema oaznog razmještaja eutektoida, već podjednak udio i razmještaj s primarnim feritom. Njihovi količinski udjeli se mijenjaju, ali razmještaj ostaje otprilike istog tipa: rastrgane su veze objema sudionicima pa se i deformacije ostvaruju podjednako preko jedne i druge faze. Rastežljivost svake od tih faza dolazi do izražaja razmjerno s njihovim količinskim udjelom, tj. proporcionalno s koncentracijom. Nagib tog pravca u krivulji MN je strm — razmjerno s nagibom spojnice AB u poglavlju 11.314-⑦.

Na snimci ㉗d ima već mnogo manje primarnog ferita, koji je uz to porazbacan i bez međusobne veze. Eutektoid prevladava i po količini i po razmještaju, a kristali su mu međusobno povezani, gotovo po svim granicama. Oazni ferit više nema pravog utjecaja na rastežljivost pa su za tu strukturu moguće samo manje deformacije. Zato i dio krivulje MN postepeno prelazi u pravac NP; dapače, već nešto prije toga ima gotovo horizontalan tok.

Na ㉗e vidimo konačno čistu eutektoidnu strukturu s 0,8% C, tj. bez primarnog ferita. Rastežljivost je dobila neku nisku vrijednost koja se ubuduće, tj. pri većim koncentracijama, neće upadljivo mijenjati.

Interesantne su i daljnje slike mikrostrukture. Tako ㉘ prikazuje situaciju nadeutektoidnog područja u kojem se već pojavljuje i krhki i tvrdi sekundarni cementit na granicama kristala. Na taj način sekundarni cementit rastavlja kristale eutektoida.

Količinski udio jedva nešto utječe na debljinu izlučina cementita, ali ne na njihovu rasprostranjenost koja je odlučujuća. Kako vidimo, rastežljivost se smanjuje po pravcu NP — proporcionalno s količinskim udjelom sekundarnog cementita, tj. uglavnom blago. Ako su, naime, spomenute izlučine tanke (a to je pri nižim koncentracijama ugljika u slitini), one prilikom deformacije mogu popucati pa dopuštaju neku rastežljivost, bez

㉘ Pojavljivanje cementita (oštre niti) u nedeutektoidnom području

㉙ Cementit kao osnovna struktura

prekida cjeline. Kasnije to, na primjer, kod slitina s više od 2,03% ugljika, više nije slučaj, ne samo zbog odebljanja tih izlučina već i zbog nastupanja nove faze, tj. eutektičkog cementita, koji je sasvim drukčije porazmješten ㉙. To je već dio ledeburita, koji ne predstavlja samo tanke izlučine na granicama primarno nastalog austenita, već upravo obrnuto.

Ovdje je baš cementit osnovna struktura. Iako je ispremiješan sa sitnim euktektičkim austenitom, ipak, eutektički cementit povećava tvrdoću i **krhkoću,** na koju gotovo nemaju utjecaja izolirane čestice austenita. Rastežljivost ovdje naglo pada sve do nule (pri 2,2% C). Na ㉙ se vidi kako je eutektički austenit x bio opkoljen eutektičkim cementitom c, dakle nemoćan, dok je eutektoid y, koji je rastao od primarnog austenita, jednostavno čitav obliven spomenutom eutektičkom mješavinom. (U tom se slučaju i sekundarni cementit pridružio eutektičkom cementitu pa se na slici posebno ne primjećuje.)

Za eutektički cementit, koji ovdje ima glavnu ulogu, znamo da je krhak, a njegovo pucanje znači lom čitave strukture.

Razmještaj faza je, dakle, za rastežljivost od presudnog značenja. Sve daljnje faze slitine, tj. s postotkom ugljika iznad 2,2%, potpuno su krhke pa zato smatramo **čelicima samo slitine do koncentracije 2,03%**, gdje još nema eutektičkog cementita.

Općenito govoreći, za rastežljivost treba, dakle, kazati da postoji samo pri vrlo malom postotku ugljika. Ovamo ubrajamo i gnječivost te kovkost, koje, kako vidimo, već kod 0,25% ugljika počinju naglo padati.

11.331.3 Čvrstoća

Čvrstoća je rezultat otpornosti svih faza pa se uglavnom mijenja prema količinskom udjelu faza sve dok postoji sposobnost za deformacije. Ako nedostaje rastežljivost, to već znači **nehomogenost** strukture pa će na pojedinim slabim mjestima doći do pucanja. To je konkretan znak da je u stvarnosti prosječna čvrstoća postala manja. Kad, napokon, rastežljivost posve nestane (pri 2,2% C), čvrstoća počinje postepeno padati kako smo vidjeli na ㉖. Sve do tada je promjena čvrstoće imala isti smisao kao i promjena tvrdoće, tj. posetepen porast.

Ukratko se, dakle, može reći da na čvrstoću pretežno (ali ne isključivo) djeluje količinski udio faza.

Sve navedene konstatacije u pogledu mehaničkih svojstava čelika vrijede za lagano (tj. ne suviše brzo ili suviše sporo hlađenje), tj. još uvijek za metastabilnu ravnotežu. Također ističemo da se radilo o idealnoj slitini željeza i ugljika, bez drugih primjesa. Ipak svi ti zaključci u načelu vrijede i za konkretne slitine. O tome kasnije, tj. u poglavlju o utjecaju drugih dodataka.

Napominjemo da navedeno vrijedi i za **čelični liv** dobiven lijevanjem u kalupe, jer se tamošnje razlike očitavaju samo različitošću zrnatosti, a ne i strukturnih faza. Izgradnja

i usmjerenje zrna (»tekstura«) čelika se, naime, mijenja gnječenjem pa će mu i svojstva biti homogenija uz bolji stupanj usitnjenosti zrna. Čelični liv će bez tog prisilnog usitnjavanja biti, dakle, razmjerno nehomogeniji i slabijih mehaničkih svojstava. Krupna struktura usitnjuje mu se samo termičkom obradom (žarenjem) pa nakon toga ostaju samo još teksturne nejednakosti u usporedbi s gnječenim čelikom.

11.331.4 Opće značenje grafita za Fe-slitine

Osvrnimo se još na neke karakteristike grafita u dosadašnjim slitinama.

Tokom skrućivanja grafitu raste volumen pa odljevi imaju u cjelini manje sumarno stezanje prilikom ohlađivanja. Uz to uključine grafita prigušuju titraje, djelujući poput jastučića. Nadalje, obradljivost stabilne strukture znatno je povoljnija od metastabilne jer omogućava stvaranje sitne strugotine (prekid). Najzad, lisnati grafit ima stanovito mazno djelovanje jer listići dopiru sve do površine predmeta. Nedostatak mu je ipak što slitinama smanjuje elastičnost i čvrstoću. Razumljivo je, dakako, da sva ta svojstva manje ispoljavaju kuglaste uključine ugljika.

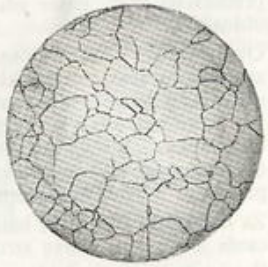
11.332 Utjecaj primjesa

11.332.1 Čisto željezo

Čisto željezo u praksi gotovo i ne postoji. Kao najčišće dosad nastupa tzv. armco-željezo s neznatnim tragovima primjesa: 99,9% Fe, <0,025% C, <0,05% Si, <0,035% Mn, <0,015% P, <0,025% S ㉚.

Svih nečistoća zajedno smije biti najviše 0,1%. Primjenjuje se samo izuzetno, u nekim aparatima i u laboratorijskoj tehnici.

Osnovna svojstva čistog željeza jesu velik magnetski permeabilitet i mala koercitivna sila. Stoga takvo željezo još zovemo »magnetski mekanom vrstom«. Na ㉚ vidimo strukturu čistog željeza s feritnim kristalima, žarenog na 800°C.



㉙ Čisto tehničko željezo (99,99%) s feritnim kristalima (250 ×)

11.332.2 Redoviti pratioci željeza (primjese)

Redoviti pratioci željeza su oni kemijski elementi koji se osim ugljika nalaze u slitinama kao obvezatne primjese pa ulaze u njih prigodom samog dobivanja.

Utjecaj nekih pratilaca smo dijelom već upoznali spominjući ih kao grafitizatore (vidi poglavlje 11.315), odnosno kao cementatore.

Nabrojimo redom sve te istaknimo njihovu ulogu!

11.332.21 *Silicij* Si

Silicij ulazi u feritnu i austenitnu rešetku, potpomažući stvaranje i stabiliziranje α-kristala (zbog toga se Si i zove »alfagenim« elementom) te podižući granice A_1, A_3 i A_{cm}, no bez utjecaja na histerezu modifikacijskih temperatura. U karbide ne ulazi, no:

- povećava čvrstoću, tvrdoću i elastičnost, a smanjuje žilavost; dodaje se do 2% za izradu opruga;
- povećava otpornost protiv visokih temperatura, stvarajući SiO_2, koji obavija kristalite i štiti ih od »vatre«, stoga se dodaje otprilike do 2,5% pri izradi vatrootpornih čelika;
- smanjuje magnetsku histerezu (odstupanja), a povećava magnetsku permeabilnost (propustljivost), zato se dodaje od 2,5 do 4,5 % pri izradi transformatorskih i dinamo-limova;
- do iznosa 0,5% smatra se kao redoviti pratilac; u većim postocima dodaje se kao legirni element (vidi kasnije).

11.332.22 *Mangan* Mn

- Mangan ulazi u znatnoj mjeri u ferit i neograničeno u austenit s malo ugljika. Iznad 1,5% izaziva krhkoću, a ni kao legiran obično se ne uzima iznad 2% jer ometa gnječenje (uslijed pogrubljenog zrna).
- Uz veću količinu ugljika tvori karbide, povećavajući čvrstoću.
- Osujećuje nepovoljno djelovanje sumpora, vezujući se s njime u spoj MnS (mangan — sulfid).
- Potiče stvaranje i stabilizaciju austenita (γ-mješanaca). Stoga se Mn smatra »gamagenim« elementom. Naglo spušta linije A_1 i A_3, te linije početka i svršetka tzv. martensitne pretvorbe (vidi kasnije) pa dobivamo austenit i uz sobnu temperaturu.
- Omogućava kaljenje u ulju (povećava prokaljivost — vidi kasnije).
- Iznad 11% daje tzv. **manganski čelik,** otporan protiv udaraca (austenit) i protiv trošenja (površinska usitnjenost). Primjena: lopatice bagera, gusjenice, skretnice itd. Kaljenjem se uklanjaju karbidi i usitnjenost, a žarenje ga otvrđuje (jer austenit oslobađa karbide).
- Legira se izuzetno i do 14%. Sve do 0,6% smatra se redovitim pratiocem.

11.332.23 *Fosfor* P

- U malim količinama ulazi u ferit i čini ga **krhkim** i tvrdim. U većim količinama spaja se u Fe_3P (fosfid), koji uzrokuje krhkost u području temperature 200—400°C.
- Na karbide ne reagira.
- Sklon je mjestimičnom nagomilavanju pa ga maksimiramo sa 0,05% (kao pratioca), izuzetno čak i sa 0,08%.
- Sadržaj od preko 0,08% lomi strugotinu pa se katkad dodaje radi režljivosti (automatni niskougljični čelici!) — i to 0,15%.

11.332.24 *Sumpor* S

- Sumpor se vezuje u FeS (odnosno u MnS).
- FeS tvori eutektikum Fe—FeS, niskog tališta (<1 000°C), tj. stvara »vruću lomljivost«, zbog koje sumpor naginje razlučivanju (krhkoća). MnS nije opasan u tom pogledu.
- Sadržaj S ograničava se sa 0,05% ili najviše sa 0,07%.
- Preko 0,08% do ispod 0,3%, ali uz još cca 0,07% Mn (koji se vezuje u MnS) dodaje se automatnim čelicima (dobra režljivost zbog lomljenja strugotine).

  Automatne čelike vidi u tablici 11.52-18.

11.332.25 *Sumpor + fosfor*

Njihov zajednički sadržaj (budući da imaju srodno djelovanje) ograničava se sa 0,1%, a u krajnjim slučajevima sa 0,12% (osim kod automatnih čelika, gdje je taj postotak znatno viši). Čelici imaju dobru zavarivost ako im S + P ne prelaze vrijednost od 0,06%.

11.332.26 *Kisik*

Kisik je **nečistoća,** vrlo štetna: već pri 0,5% stvara karbide na granicama zrna (vruća lomljivost). Čelik postaje time krhak, manje režljiv. Kisik izaziva i sklonost starenju (vidi kasnije).

11.332.27 *Vodik*

Vodik je također štetna nečistoća koja se vjerojatno uvlači u rešetku već u atomarnom stanju. Pri nižim temperaturama povezuje se s kisikkom, stvarajući molekule koje izazivaju napetosti.

11.332.28 *Dušik* N

O dušiku se donedavna znalo samo da se uspješno upotrebljava za nitriranje radi povećanja tvrdoće itd. (Vidi 11.354.2.)

U najnovije vrijeme N se uzima već kao **legirni dodatak** (SAD, Japan, SSSR) jer u najvećoj mjeri povisuje granicu razvlačenja i čvrstoću ako se dodaje čeliku u dovoljnim količinama. To praktički ne izaziva pogoršanje istežljivosti, kontrakcije i udarne žilavosti.

Rastvorljivost N u čistom Fe je vrlo malena pa se dodaju Cr, Mn i osobito V, koji »stimuliraju«, tj. povisuju rastvorljivost dušika. To se stoga napose primjenjuje kod nerđajućih čelika sistema CrNi, gdje je iz ekonomskih razloga najpoželjnije povisivanje mehaničkih svojstava. Danas legirani čelici već sadržavaju oko 0,35% N. To vrijedi, dakako, samo za rastaljeno stanje, dok u krutini rastvorljivost pada. Najviše ga rastvara γ-željezo, Inače se u prosjeku dodaje tek 0,15 do 0,25%, čime se σ_R povisuje za 10—25 kp/mm². Veće količine nisu ekonomične jer zahtijevaju previsoko dodavanje skupih »stimulatora«. Pokusima je, doduše, uspjelo uključiti čak 1,3% N, pa se σ_R povisila i za 90%!

N je vrlo povoljan i za očvršćivanje jer se već s vrlo malim stupnjem ugnječenja povisuje σ_R (npr. pri 10% ugnječenja, uz 0,88% N postiže se σ_R = 100 kp/mm², što je izvanredan rezultat s obzirom na uobičajene CrNi čelike, koji u normalnom stanju imaju σ_R = = 20 — 27 kp/mm²) — (vidi Lit. 5).

Dušik povećava sklonost starenju.

11.333 Utjecaj legiranih dodataka (općenito)

Ako u slitini (leguri) ima primjesa u većim količinama nego što je ovdje navedeno, one se više ne smatraju »pratiocima«, već **dodacima.** Ovamo spadaju i svi oni elementi koji se namjerno dodavaju pa takve kombinacije zovemo »legurama«, za razliku od prijašnjeg, kad smo govorili o »nelegiranim« slitinama (npr. kod čelika je uobičajen naziv »ugljični čelici«).

Legiranje (tj. dodavanje elemenata) bitno poskupljuje materijal pa se primjenjuje samo ako želimo postići određena svojstva: visoku čvrstoću, žilavost, dinamičku izdržljivost, otpornost pri visokim temperaturama, bolju prikladnost za toplinsku obradu, kemijsku otpornost i neka osobita fizička svojstva (magnetičnost, dilatacija, vodljivost itd.).

Djelovanje legirnih elemenata (nabrojit ćemo ih kasnije) zavisi o načinu kako oni ulaze u strukturu slitine.

- Neki od njih ulaze u već postojeće faze, tj. u ferit i austenit (npr. Ni, Si, Co, Al, Cu), a ne tvore karbide.
- Drugi (npr. sumpori i kisik) tvore nove faze (okside, odnosno sulfide).
- U trećoj skupini su metali (Ti, Zr, V, Ta, W, Nb, Cr, Mo, Mn, Fe), koji jednim svojim dijelom ulaze u ferit i austenit, a s preostatkom (ako ga ima) ulaze u karbide ili čak tvore vlastite karbide. To su »karbidotvorni« elementi. Poredani su (gore) upravo po intenzitetu karbidotvornosti. Na sličan način djeluje fosfor, stvarajući — eventualno — fosfide.

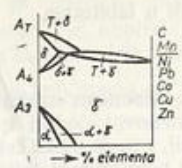
11.333.1 Metalografsko djelovanje

Legirani dodaci imaju ovo metalografsko djelovanje:

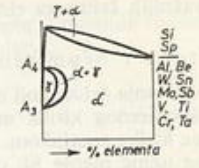
- Ulazeći u već postojeću rešetku, legirni je elementi unakazuju. Time dotičnoj fazi rastu tvrdoća i čvrstoća, a pada rastežljivost.
- Oni smanjuju moć difuzije, što dotičnu fazu čini **postojanijom.**
- Neki od legiranih dodataka protežiraju ferit, stabilizirajući njegovu α-rešetku, pa se zovu alfagenim elementima, dok drugi jačaju stabilizaciju austenita, tj. rešetku γ-mješanaca, pa ih nazivamo gamagenim primjesama.
- Alfageni elementi, dakle, sužuju područje austenita, a proširuju područje ferita sve do solidus-crte, tj. spajaju u stvari i α i δ-područje u jedno ㉛.

Naprotiv, gamageni elementi proširuju područje austenita, preskačući eutektoidna stanja, sve do sobne temperature.

Na ㉛ i ㉜ ujedno su nabrojeni elementi koji djeluju u navedenom smislu. Najsnažniji su uzročnici potcrtani.



㉛ Djelovanje alfagenih elemenata



㉜ Djelovanje gamagenih elemenata

Iako se navedene slike odnose samo na dvostruke slitine, bez ugljika, one vrijede kao predodžba spomenutih modifikacija u normalnim slučajevima, osobito u pogledu razilaženja krivulja A_1 i A_3 te pomicanja graničnih koncentracija ulijevo, odnosno udesno.

- Mnogi legirni dodaci povećavaju toplinsku histerezu, drugim riječima, djeluju na granice A_c i A_r. Na primjer, dodavanjem Mo i W obje ove granice rastu, dok primjesom Ni postižemo njihov pad. Napokon, dodavanjem kroma dobivamo različite efekte: A_c raste dok A_r pada — sve to linearno. To se može odlično primijeniti u kombinacijama, npr. Cr + Ni (kod nerđajućih čelika) jer se njihovo suprotno djelovanje na A_c može poništiti, a njihovo podudarno djelovanje na A_r znatno pojačati. Time se povećava histereza, odnosno temperaturni razmak između modifikacije pri grijanju i pri hlađenju, pa preostane više vremena za stanovitu toplinsku operaciju. To može biti vrlo korisno pri toplinskoj obradi.
- Gotovo svi legirni dodaci (tj. osim Mn) pridonose **usitnjavanju zrna** austenita pa imamo sitnije zrno i ispod A_1 linije. Mangan, naprotiv, ukrupnjuje, stoga se rijetko dodaje iznad 2%. Neki od tih dodataka i ne stvaraju karbide pa manje usitnjuju strukturu (Ni, Si, Cu, Co). Nasuprot tome, »karbidotvorci« djeluju vrlo intenzivno, pogotovo Ti i V, jer njihova karbidna zrna jednostavno koče okupljanje austenitnih zrna. Kod titana je to potencirano još većom ili manjom prisutnošću TiO_2. Slično djeluje i Al_2O_3, koji inače ne tvori karbide. O tome kasnije.
- Djelovanje **kemijskih spojeva** može izazvati lomljivost. Fosfidi uzrokuju lomljivost pri temperaturi 200—400°C (pregrijavanje — krhkost), a sulfidi na još višim temperaturama (900°C i više), stvarajući niskotaljive eutektikume, koji prekidaju teksturu. To zovemo vrućom lomljivošću, a javlja se pri toplom gnječenju.

Spoj Si s kisikom (SiO_2) povećava tvrdoću, elastičnost i krhkoću. To je nepogodno za režljivost jer naglo troši alat, a smanjuje i rastežljivost predmeta. Ipak, SiO_2 obavija feritnu i karbidnu fazu, povećavajući time otpornost protiv vatre. Povećavanje elastičnosti, s druge strane, iskorišćuje se pri gradnji opruga. Slično je djelovanje Al_2O_3 u pogledu vatrootpornosti, pače i bolje, jer Al_2O_3 ne povećava ni tvrdoću ni krhkoću, kao što je to slučaj kod silicija.

11.333.2 Otpornost kiselinama i lužinama (ukratko: kemijskim utjecajima)

Otpornost kiselinama i lužinama zasniva se na direktnom zaštitnom djelovanju dodatnog elementa (npr. kroma kod kromovih vrsta čelika), koji također stvara neku vrstu opne na željeznim fazama. Kod austenitnih Cr—Ni čelika to je djelovanje povećano još i većom otpornošću samog austenita. Vidi i poglavlje 11.365.2.

11.333.3 Fizička svojstva

Fizička svojstva (magnetičnost, dilataciju, električnu otpornost itd.) poboljšavaju Cr, Ni, Co, W, Si, Cu, Al i još neki. Trajnu magnetičnost postižemo dodavanjem Cr, Ni,

Al, Co, W i Cu, u vezi s termičkom obradom. Posebna električna otpornost (za reostate, grijala) dobiva se napose velikim dodavanjem Cr, Ni, Al, Cu, Mn, pa ih još jedva ubrajamo u čelike, to više jer su neke od tih slitina uopće bez željeza i ugljika (konstantan, manganin i nikelin). — Određene toplinske dilatacije postižu se velikim postotkom Ni s nešto Cr (invar, platinit, elinvar).

Pregled najvažnijih čelika za elektrotehničke svrhe vidi u tablicama.

11.333.4 Umirena i neumirena struktura

U procesu dobivanja čelika koji može da urodi tzv. **neumirenom** strukturom (nastajanje CO_2 od prekomjernog kisika umiješanog u masu), stanoviti dodaci sprečavaju nepovoljno vezanje kisika s ugljikom. To su aluminij i silicij, i to za meke čelike u iznosu od 0,2%. Ako se uzme manje Si, odnosno Al, dobiva se poluumireni čelik, kod kojeg još u bloku nastupaju mjehurići.

Kisik ima, naime, veći afinitet prema Si i Al nego prema ugljiku pa ga oni vežu na sebe i odvuku u trosku. Umirena struktura je čišća od neumirene, a u mnogo slučajeva to je upravo uvjet za uspješno zavarivanje itd.

Specijalna vrsta je **visokomanganski** čelik sastava 1—1,3% C, te 11—14% Mn, austenitne strukture. Čvrstoća mu je cca 100 kp/mm², rastežljivost $\delta \cong 80\%$, tvrdoća 210 B. Izvanredna mu je otpornost protiv trošenja, uslijed usitnjenosti površinskih kristala. Austenitna struktura ima, naime, sposobnost da se njeni kristali smanjuju poklizima po kliznim ravninama njihovih plošno centriranih rešetki. Primjena: skretnice, oklopi bornih kola, čeljusti drobilica i slično.

11.333.5 Starenje čelika

Starenjem zovemo pogoršavanje svojstava tokom dužeg vremena. Starenje čelika zasnovano je na difuziji. Nastupa u dva tipa, i to kao učvršćujuće (i »ukrhkujuće«) te kao omekšavajuće starenje.

Prvi tip uzrokuju kisik i dušik, koji su se prilikom skrućivanja, doduše, uvukli kao uključinski mješanci, ali su se kasnije, tokom vremena, zaslugom kakve-takve difuzije počeli vezivati sa Fe ili sl., tvoreći stanovite štetne **okside** i **nitride** koji izobličuju rešetku, smanjuju rastežljivost i stvaraju krhkoću. To se odvija sporo, ali kontinuirano. Osobito to vrijedi za one čelike koji rade na višoj temperaturi (kotlovski limovi) koja ubrzava proces difuzije, a time i — lom. Razumije se da taj proces upropaštavanja nastupa i na skladištima, gdje čelik uopće još nije izložen eksploataciji.

Takvo se starenje sprečava već pri samom pročišćavanju, tj. uklanjanjem onih primjesa koje mogu stvoriti kemijske spojeve u rešetkama. Osim toga, mogu se dodati neki elementi koji smanjuju moć difuzije.

Drugi tip starenja pojavljuje se na zakaljenom čeliku. Ugljikovi atomi, koji su kaljenjem zadržani u kristalima (što onemogućuje difuziju) stvorili su prezasićenost tih kristala te izazvali distorziju njihove rešetke. Ipak, i pri normalnoj temperaturi postoji neka mala difuzija, koja tokom vremena omogućuje jednom dijelu ugljikovih atoma da se isele iz prezasićenih kristala. To njima donosi olakšanje, tj. smanjenje nereda, pa i tvrdoće. Tako se, medutim, smanjuje i volumen kristala pa predmet gubi mjeru. Osim toga, smanjenjem zakaljenosti smanjuje se i magnetičnost, što je porazno npr. za **trajne** magnete. O stabilizacijskom starenju vidi poglavlje 11.343.3.

11.334 Utjecaj metalnih dodataka

Razmotrimo pojedinačno u čemu se sastoji uloga **metala** kao dodataka.

11.334.01 *Nikal* Ni

Nikal očvršćuje feritnu fazu, povećavajući joj ujedno žilavost pri normalnim i pri sniženim temperaturama. Još u većoj, gotovo neograničenoj mjeri, ulazi u austenitnu strukturu.

— U karbide ne ulazi, niti ih stvara.
— Gamagenog je karaktera, obarajući A_1 i A_3. Omogućava postojanje austenita na sobnoj temperaturi.
— Povećava histerezu, prokaljivost, žilavost (koja onda postoji i pri negativnim temperaturama) te električnu otpornost.
— Feromagnetičan je, upotrebljava se za trajne magnete. Smanjuje toplinsku dilataciju. Uz visoke sadržaje daje određena dilatacijska svojstva.

Legira se u količinama od 0,25 do iznad 50%.

11.334.02 *Krom* Cr

— Krom ulazi neograničeno u ferit, nešto u austenit, a zajedno s ugljikom i u karbide. Time povećava tvrdoću i otpor trošenju, ali i krhkoću.
— Alfagenog je karaktera; sa 13% eleminira austenitnu fazu i bez ugljika, i to sve do solidus-linije.
— Počev od 13% na više, pruža otpornost rđanju, od 20% naviše daje čeliku otpornost prema vatri (ako nema drugih dodataka).

Legira se u količinama od 0,3 do 30%.

11.334.03 *Krom + nikal* (CrNi)

— S kojih 8% Ni, zadržava se austenit pri kaljenju čak i na sobnoj temperaturi, što daje meke i gnječive vrste. Pri popuštanju takav se austenit raspada.
— Ta je kombinacija općenito karakteristična za nerdajuće i prema vatri otporne čelike.

11.334.04 *Molibden* (Mo)

— Molibden ulazi prilično u ferit, a malo i u austenit. Ulazi mnogo u karbide i sam ih tvori, povećavajući kemijsku postojanost.
— Alfagen je, pa istiskuje austenit, podiže A_1, A_3 i A_{cm} i solidus-liniju.
— U količini 0,2 do 0,3% snažno povisuje čvrstoću uz razmjerno visoku žilavost.
— Oko 1% znatno povećava čvrstoću u toplu stanju.
— Do 1% najjače povećava prokaljivost.
— Sa 6% (uz krom), a sa 9% sam daje brzoreznost.

Legira se u količinama od 0,15 do 10%.

11.334.05 *Volfram* (W)

— Volfram bolje ulazi u ferit, a manje u austenit te mnogo u karbide. I sam stvara, pri većem sadržaju, vrlo tvrde karbide, što znači povećanje tvrdoće čak i pri višim temperaturama. Iznad 17% W daje brzoreznost, a otprilike uz 2,6% V već s kojih 9%!
— Alfagen je, znatno suzuje područje austenita, podižući A_1, A_3, A_{cm} i solidus-crtu.
— Sa 5—6% dodaje se čelicima za trajne magnete jer povećava koercitivnu silu.
— Prokaljivost povećava poput kroma.

Legira se u količinama od 0,5 do 25%.

11.334.06 *Kobalt* (Co)

— Kobalt gotovo neograničeno ulazi u ferit, a još bolje u austenit, medutim ne tvori karbide.
— Gamagen je, spušta granicu A_1 i A_3.

– Smanjuje prokaljivost, povećava kritičnu brzinu za kaljenje. Općenito čini čelik **vrlo osjetljivim** za toplinsku obradu pa zahtijeva izvanredan oprez već pri grijanju.
– Feromagnetičan je, povećava koercitivnu silu, pa se upotrebljava za trajne magnete.
– Povećava izdržljivost oštrice pri visokim temperaturama. Stoga se dodaje brzoreznim čelicima za obradu tvrdih čelika i livova.

Legira se u količinama od 1 do 40%.

11.334.07 *Vanadij* (V)

– Vanadij neograničeno ulazi u ferit, a tek neznatno u austenit.
– Uz ugljik tvori vrlo snažne karbide, sprečavajući porast zrna (usitnjavanje).
– Alfagen je, suzuje austenitno područje, povisuje vrlo intenzivno magnetičnost.

Dodaje se u količinama od 0,05 do 4%.

11.334.08 *Aluminij* (Al)

– Aluminij ulazi prilično u ferit i jedva nešto u austenit. U čeliku ne ulazi u karbide niti ih tvori.
– Alfagen je, podiže granice A_1, A_3, A_{cm}.
– Povećava otpornost prema vatri (Al_2O_3 obavija kristalite).
– S niklom i kobaltom znatno povećava magnetsku koercitivnu silu pa se dodaje za trajne magnete.
– S kromom zajedno povećava električnu otpornost.

Legira se u količinama od 0,6 do 13%.

11.334.09 *Titan* (Ti)

– Titan neznatno ulazi u ferit, a jedva u austenit, ali zato tvori osobito snažne karbide ili ulazi u njih, čineći ih vrlo postojanima. Time (a još više stvaranjem TiO_2) intenzivno sprečava porast zrna pa se smatra da najjače usitnjuje zrno.

Legira se u količinama od 0,08 do 0,8%.

11.334.10 *Bakar* (Cu)

– Bakar ulazi neznatno u ferit, a ponešto u austenit. U karbide čelika ne ulazi niti ih sam stvara.
– Gamagen je, lagano spušta A_1 i A_3 granicu.
– Povisuje koercitivnu silu pa se dodaje samo za postojane magnete.

Legira se u količinama od 3 do 6%.

11.334.11 *Tantal* (Ta)

– Tantal jedva ulazi u ferit i austenit, ali vrlo snažno tvori tvrde karbide.
– Upotrebljava se uglavnom za sintrovanje.

11.334.12 *Bor* (B), *niob* (Nb), *cirkon* (Zr)

– U malim količinama usitnjuju zrno i povećavaju prokaljivost.
– Niob i cirkon osim toga vrlo snažno tvore karbide i ulaze u njih pa ih tako čine postojanima.

Bor se legira u količinama od 0,002 do 0,004%.

11.335 Postizavanje određenih svojstava legiranjem Tablica 1.

Svojstvo	Postiže se, odnosno raste sa sadržajem	Pada sa sadržajem	Primjedba
Čvrstoća	Mo, Cr, Si, V, V+Mn		
Žilavost	CrMo, CrW, Ni, V, Mn (>11%)		
Tvrdoća	Cr, Si, W, Mo i >11% Mn		
Rastežljivost		Si, Cr	
Granica elastičnosti	>12% Mn		Raste i sa 6% W u čeliku CrNi i s malim sadržajem Ni, CrNi i CrNiMo
Otpornost u toplom stanju	Mo, Cr, W, Si (Mn)		Nikal sam ne djeluje, ali zato vrlo znatno kod čelika CrNi i CrNiW
Otpornost umoru	Cr 13%, Mn, CrMo, CrNi, Ni		Kod kroma, na štetu žilavosti. Općenito raste s poboljšavanjem
Prigušivanje titraja			Redovito pada legiranjem i poboljšavanjem. Najveće je u odžarenom stanju.
Otpornost protiv trošenja	Mn >12% Cr (13% + 2,2%C)		
Nemagnetičnost	25% Ni, 18/8% CrNi >7% Mn		
Trajna magnetičnost	5–6% W, 8–13% Al 5–4% Co, 3% Cr, Mo 3–6% Cu		Većinom kombinirano
Električna otpornost	>25% Ni		Pri visokim temperaturama postizava se sa CrAl
Otpornost rđanju	Cr, CrMo (+>13% Cr)		
Otpornost kiselinama	CrNi, CrMo i CrMn (+>16% Cr + 8% Ni)		
Otpornost protiv vatre			Visokolegirani sa CrNi, Cr i CrMn, CrMo ili niskim legiranjem sa Si, Al
Režljivost	P i S (0,08–0,2%) ili sa 1% Mn		Inače se postiže i sa Si i Cr
Izdržljivost oštrice	W, Mo, Co		Visokim legiranjem
Lomljivost	P, S, Cr, Si		sa S u vrućem stanju, sa P u polutoplom stanju

Analogan pregled za kvalitativan utjecaj legirnih dodataka na svojstva čelika vidi u ovom prikazu:

Utjecaj elemenata legiranja na svojstva čelika (kvalitativno)

Tablica 2.

Svojstvo čelika	Element legiranja												
	C	S	P	Si	Mn	Al	Ni	Cr	Mo	W	V	Ti	Co
Čvrstoća	+ +		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Tvrdoća	+ +			+	+	+	+	+ +	+	+	+	+	+
Produženje	−	−			+ +	− −	+	+					−
Elastičnost	+ +		+	+ +	+		+	+	+		+ +		
Udarna žilavost	−	− −		−	+ +	− −	+		+ +		+ +	− −	
Trajna statička čvrstoća (pod višim temperaturama)	+		+	+	+	+	+		+ +	+ +	+	+	+
Trajna dinamička čvrstoća					+	−		+	+ +	+ +	+ +	+ +	+
Otpornost protiv kemijskih utjecaja	−	− −	+ +	+	+	+	+ +	+ +	+		+	+	+
Otpornost protiv vatre	+			+	−	+ +		+	−		−		
Sposobnost za izvlačenje	− −	−	− −	− −	−		− −	−		−	− −		
Sposobnost za kovanje	−	−	+	− −									
Sposobnost za varenje	−	−	−	−								+	
Sposobnost za obrađivanje	−	+ +	+	−	−	− −	−	−		−	−	−	
Sposobnost da obrađuje (reže)	+ +			+		+		+	+	+	+ +	+	+
Otpornost protiv napuštanja								+	+	+ +	+ +	+	+

U tablici + znači utjecaj u smislu povećanja odgovarajućeg svojstva čelika, a − znači njegovo smanjivanje. Dvostruki znakovi znače pojačani utjecaj.

11.34 PRERADA ČELIKA

11.341 Gnječenje

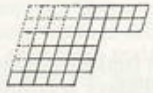
Gnječenjem smatramo operacije pri kojima se materijalu mijenja **oblik,** i to promjenama uzajamnog položaja čestica, tj. bez ikakva otkidanja (kovanje, prešanje, valjanje, tiještenje, provlačenje, tiskanje i sl.). Time se materijalu mijenjaju mehanička svojstva, i to različito pri **hladnom** i pri **toplom** gnječenju. Hladnim se postupkom metalima povećavaju tvrdoća i čvrstoća, a smanjuje rastežljivost. Toplim gnječenjem se, međutim, sva ta svojstva povećavaju, ali čvrstoća i tvrdoća znatno manje. Razmotrimo obje ove varijante.

11.341.1 Hladno gnječenje

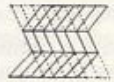
Svako gnječenje metala temelji se na teoriji **plastičnih deformacija.** One se najlakše ostvaruju pomicanjem atomskih skupina po kliznim ravninama. Ta pomicanja ostvaruju se dvojako: translatornim i kombiniranim gnječenjem.

11.341.11 *Translatorno gnječenje*

Translatorno gnječenje zbiva se izravno po kliznim ravninama ㉝. Do toga dolazi kad sile djeluju u smjeru tih ravnina (npr. kod plošno centriranih kubnih rešetki).



㉝ Klizanje čestica pri translatornom gnječenju

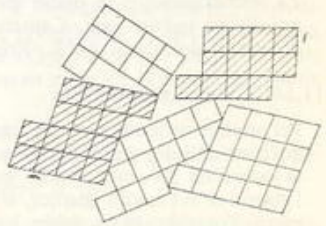


㉞ Preklapanje kliznih ravnina

Ako klizne ravnine ne leže povoljno s obzirom na smjer djelovanja sile, deformacije se ostvaruju **preklapanjem** kliznih ravnina. To je slučaj kod prostorno centriranih i napose kod heksagonskih rešetki. Pomicanje se pri preklapanju teže postiže. Međutim, u velikom broju slučajeva to je svojstveno samo za početak gnječenja, tj. dok se kristali ne usmjere povoljnije pa se onda pomicanja nastavljaju translatorno. Pri preklapanju dolazi preklopljeni dio kristala prema neprekloplјenom u položaj zrcala slike, pa nastanu dva »blizanca« ㉞. Ta se pojava stoga naziva **dvojčenje.**

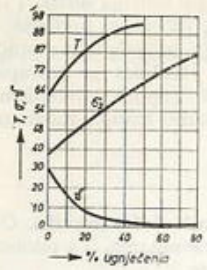
11.341.12 *Kombinirano gnječenje*

Poklizi ne mogu nastupati na idealno pravilno gradenoj rešetki (odnosno bile bi za to potrebne ogromne sile). Nepravilnosti pomažu time što predstavljaju neke vrste »jezgre« za početak, i to već pri malim silama. Jednom započeti pokliz teći će dalje sve dok ne naide na neku zapreku, npr. granicu mozaika ili možda tek na granicu kristalita. Nakon toga, ako su prilike pogodne, pokliz će se nastaviti u slijedeći mozaik, odnosno kristalit, ili će se zadržati (zaustaviti) na tim granicama. Atomi tada ostaju zbijeni i povećava se nered, koji u suštini označuje **napetosti** na takvoj granici. U prvom slučaju pokliz će se nastaviti i dalje, pa će pri tome odroniti jedan dio kristalita od njegove matične skupine. Na ㉟ to je grubo simbolizirano time što isprugane skupine rešetke označavaju skupine koje su prije deformacije pripadale istom kristalitu. Otkidanjem jednog ili više dijelova tog kristalita nastala su dva ili više manjih kristalita koje ponese klizna struja. Vidi se, dakle, da je glavna karakteristika tih pojava **usitnjenje kristalita.**



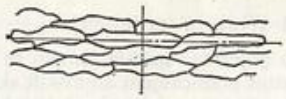
㉟ Kombinirano gnječenje

Plastična deformacija ima, prema tome, za posljedicu povećanje nereda na **postojećim** granicama mozaika i kristalita, tj. stvaranje napetosti ili pak stvaranje novih granica, tj. usitnjenje, koje donosi veću čvrstoću i tvrdoću, ali **manju** rastežljivost i kontrakciju ㊱.



㊱ Promjena tvrdoće, čvrstoće i rastežljivosti pri gnječenju

Treba naglasiti da ovdje osim klizanja atoma dolazi još do rotacije kliznih ravnina, i to u smjeru koji pogoduje klizanju. To olakšava klizanje, a ujedno dovodi do **usmjeravanja** kristalita. To usmjerenje zrna izaziva razlike u mehaničkim svojstvima, u smjeru zrna



㊲ Usmjerenje zrna

i okomito na taj smjer. To objašnjava ㊲, gdje se vidi da idući **duž** usmjerenog zrna, nailazimo na manji broj granica nego idući **poprijeko,** pa je čvrstoća veća.

11.341.13 *Stupanj ugnječenja*

Intenzitet deformacije, tj. dimenzionalne i oblikovne izmjene predmeta pomoću plastične deformacije, izražava se »stupnjem ugnječenja« i obilježava u postocima. Njegova vrijednost ne ide nikad do 100% jer već prije toga nestanu klizne ravnine; usitnjenje je dovršeno, a krhkost poraste na kraju krajeva do neupotrebljivosti.

O stupnju ugnječenja ovise, dakle, i postignuta mehanička svojstva materijala pa ćemo se na tu veličinu češće pozivati.

11.341.14 *Svrha hladnog gnječenja*

Ta je svrha:

- dobivanje proizvoda tankih debljina (žica, trake, cijevi)
- postizavanje glatke površine i tačnih dimenzija proizvoda
- postizavanje određenih mehaničkih svojstava i teksture
- postizavanje određenih fizičkih svojstava (u manjoj mjeri).

11.341.15 *Čelici prikladni za hladno gnječenje*

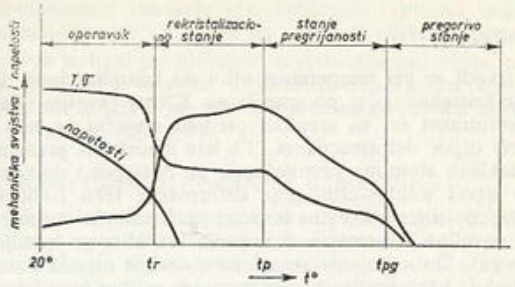
- Ugljični čelici sa 0,06 do 0,12% C (ali i sa 0,3 do 0,9% za opruge, žice, užad, igle, britvice, listove reznog alata itd.).
- Legirani čelici, nerđajući, magnetni, električni.

Za rekristalizaciju se ovdje može reći da je napose poželjna jer omogućuje još veliku gnječivost nakon toga. Cementitne faze su, naime, izdrobljene pa umjesto lamelarnog dobivaju globularni oblik. Primjena: dobivanje limova za duboko izvlačenje.

11.341.2 Rekristalizacija

Pri suviše visokom stupnju ugnječenja materijal postaje krhak pa dolazi u pitanje mogućnost daljnjeg gnječenja (stanjivanja). Prilikom hladnog otvrđivanja, kako se još zove ta operacija (ili »otvrđivanje gnječenjem«), nastaje struktura koja je, doduše, vrlo sitna i sastoji se od samih granica, ali to ujedno vodi do potpune **krhkoće** jer su zrna **usmjerena.** Potrebno je to, dakle, izmijeniti, tj. uz istu kristalnu rešetku izazvati **neusmjerenost** kristalita.

Do toga dolazimo **rekristalizacionim žarenjem,** čiji je proces grubo prikazan na ㊳, a ima svrhu da ukloni usmjerenost zrna kristalita (»re« — znači »ponovo«; to je, dakle, ponovna kristalizacija).

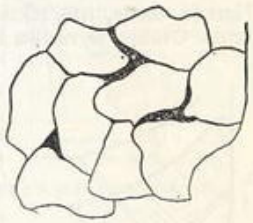


㊳ Rekristalizacija metala

Proces rekristalizacije počinje na više različitih mjesta. Grijanjem raste moć difuzije koja potiče uraščivanje novih kristala u najbliže okolne kristalite sve dok se oni ne sukobe međusobno i time se spriječe u daljnjem rastenju. Prilikom sukoba stvara se nova granica između kristalita, a to je novo područje »nereda« jer će oni biti neovisno, tj. sasvim općenito orijentirani, drugim riječima — neusmjereni.

Kako vidimo, takvo rekristalizirano zrno isprva ne raste mnogo do temperature t_p, no tada započinje **sređivanje** duž granica kristalita. To će u stvari biti sraščivanje više susjednih zrna u jedno, a budući da se pretjerano ukrupnjivanje ne smatra poželjnim, to se stanje smatra **pregrijanim,** a uzroke tome pripisujemo temperaturi pregrijanja t_p.

Daljnjim grijanjem približavamo se solidus-crti, što već znači rastaljivanje materijala. Prvo se rastale na granicama razne nečistoće smiješane s eutektičkim komponentama. Ako u tom stanju prestanemo povisivati temperaturu, zaustavit će se daljnje taljenje, pa ćemo netom rastaljene čestice zateći negdje između osnovnih kristalita. Zapravo, do solidus-crte tada neće praktički ni doći. Ipak, mjesta s nižim talištem stvarno će se rastaliti pa će tamo nastupiti prekid između kristala, a to je već lom materijala ㊴.



㊴ Pregorena struktura metala

To zovemo stanjem pregorenosti. Materijal se pri toj temperaturi potpuno uništava.

Zona »oporavka« na ㊳ je područje intenzivnog smanjivanja napetosti, koje omogućuje promjene na granicama mozaika, pa i kristalita (kod kojih se radi o neredu višeg stupnja). Za smanjivanje nereda na granicama mozaika dovoljna je i manja moć difuzije nego bi to bilo na granicama kristalita pa je dovoljno to manje pregrijanje. Struktura se zaista oporavlja od napetosti; njihovim iščezavanjem postaje očito da je dio rekristalizacije završen. Daljnji proces treba da uz to eliminira usmjerenost zrna još prije ukrupnjivanja kristalita.

Temperatura rekristalizacije

Temperatura rekristalizacije je, kako vidimo, promjenjiva, a ovisi:

- o stupnju ugnječenja: za veći stupanj uzima se niža temperatura jer je zbog većeg broja granica povećan i broj mjesta prikladnih za začetak kristalizacije;

— o veličini izvornog (napadnutog) zrna: što je veće zrno, potrebna je viša temperatura za rekristalizaciju;
— o čistoći slitine: porastom nečistoća otežano je uklanjanje nereda, dakle i rekristalizacije.

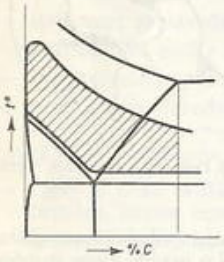
11.341.3 Toplo gnječenje

Toplo gnječenje izvodi se pri temperaturi višoj od kristalizacione. Deformacije se sve više ostvaruju interkristalinično, tj. po granicama. Klizne ravnine više nisu interesantne. Pri niskim temperaturama svi su granični predjeli amorfni pa kao kruti (neplastični) djelići pružaju veći otpor deformacijama. Ta ista amorfnost granične tvari pri **višim** temperaturama olakšava atomima premještanje pa postepeno dolazimo i do **tjestastog stanja,** nedaleko ispod solidus-crte, gdje deformacije teku isključivo po granicama. To je začetak rastaljenosti jer i taljevina u stvari znači amorfni raspored atoma. Tjestasto stanje omogućuje povoljne deformacije (koturanje kristalita po rastaljenim granicama — jedan preko drugoga). Do usitnjenja zrna i ne dolazi, a otpada i svako usmjerenje. U stanovitoj mjeri djeluje i rekristalizacija jer je proces prošao kroz temperaturu rekristalizacije pa kao rezultat imamo srednje usitnjeno i gotovo neusmjereno zrno. Na taj način postižu se ove prednosti:

— povećana čvrstoća
— povećana tvrdoća
— vrlo velika rastežljivost.

Toplo gnječenje homogenizira, naime, granice, bez veće amorfnosti koja bi razvijala nehomogenosti sa zareznim djelovanjem. Za zarezno djelovanje je inače poznato da uvijek smanjuje rastežljivost pa ovdje proizlazi da i unatoč povećanju broja granica rastežljivost raste. To je napose karakteristično za nečiste slitine jer se nečistoće prve rastaljuju, zajedno s eutektikom te obavijaju matična zrna. Gnječenjem se ti eutektikumi razbijaju, obloga popušta, pa zrna dolaze u direktan dodir.

Nastaje, dakle, isto rekristalizirano stanje kao pri rekristalizaciji nakon hladnog gnječenja. Osobita je razlika ipak u znatno većoj rastežljivosti.



40 Toplo gnječenje u Fe—C dijagramu

Toplo gnječenje čelika služi za postizavanje dobrih svojstava, ali i za dobivanje odgovarajućih oblika poluproizvoda. Dok još čelik ima ljevačku[1] teksturu, on je krupnozrnat i nehomogen na granicama i nema osobite vrijednosti.

Na kojim temperaturama se izvodi toplo gnječenje?

To se vidi na 40, u konturama Fe—C dijagrama, i to na šrafiranoj površini.

Donja granica određena je crtom A_1 i A_3, a gornja solidus-linijom.

Za niskougljične čelike opasne su **niske** temperature jer pospješuju porast zrna nakon prekoračenja rekristalizacione temperature.

Kod visokougljičnih čelika upravo te temperature potiču oslobađanje grafita (tzv. crna lomljivost).

Naprotiv, za visoke temperature nisu osjetljivi niskougljični, ali su to osjetljiviji visokougljični čelici, pa i legirani (osobito s Co). Te čelike treba zato prilikom gnječenja više puta ponovo grijati.

Brzina gnječenja utječe na otpor materijala protiv deformacije. S druge strane, premale brzine omogućuju preveliko ohlađivanje čelika (dugotrajan dodir alata s proizvodom), a to smanjuje sposobnost gnječenja. Stoga su razne vrste čelika različito prikladne za pojedine postupke gnječenja. Visokolegirani čelici nisu npr. prikladni za sporo prešanje, itd.

11.342 Napetosti i njihove posljedice

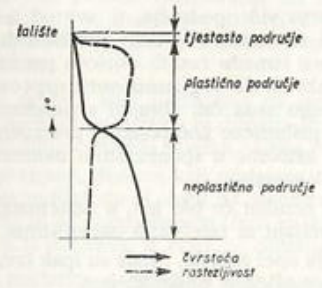
Nejednoličnost deformacija u različitim dijelovima proizvoda, nezavršeni procesi u strukturi, koji teže za okončanjem, kao i uključine ekspanzivnog značaja, čine **unutrašnje** sile koje izazivaju **napetosti,** za razliku od naprezanja, koja potječu od vanjskih sila. Promjene temperature izazivaju tzv. toplinske, odnosno **makronapetosti,** dok promjene u strukturi čine tzv. strukturne, odnosno **mikronapetosti.**

One se kombinatorno javljaju pri lijevanju, zavarivanju, gnječenju, termičkoj obradi itd. Osnovnu pažnju ipak ćemo obratiti toplinskim napetostima koje nastaju uglavnom zbog nekih nepovoljnih mjesta u predmetu (neujednačeni oblici, ulivna mjesta u odljevu, vanjska grijanja pri zavarivanju itd.).

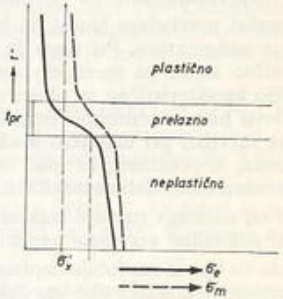
11.343.1 Uloga temperaturnih promjena u metalima

Iz nauke o čvrstoći znamo da postoje elastična i neelastična (tj. plastična) naprezanja. Čvrstoća i rastežljivost ovise bitno o temperaturi, pa to vrijedi praktički za procese konkretnih deformacija. Na 41 vidimo podjelu pojedinih područja na neplastično (tj. razmjerno hladno), zatim plastično (tj. ugrijano) i tjestavo (tj. pregrijano) područje. U **neplastičnom** području prevladavaju elastična naprezanja. Čvrstoća je velika, a rastežljivost razmjerno mala. Deformacije (hladna gnječenja) izvode se transkristalinično, tj. po kliznim ravninama (prema poglavlju 11.12. — 16).

U **plastičnom** području prevladavaju neelastična naprezanja. Čvrstoća osjetno pada, a rastežljivost intenzivno raste. Deformacije se odvijaju interkristalinično, tj. po granicama kristalita (u pogl. 11.12. — 16a).



41 Čvrstoća i rastežljivost pri temperaturnim promjenama



42 Pojave u prijelaznom području

Za **tjestasto** stanje je, naprotiv, karakteristično da su i čvrstoća i rastežljivost praktički na nuli. Deformacije se provode gotovo bez otpora, kotrljanjem kristala u kašastoj masi.

Interesantno je svratiti pažnju na **prijelazno** područje i njegovu okolinu 42 jer tamo postoji i drugi tip naprezanja, pa i prevladavanje jednog i drugog tipa ovdje se mijenja, ako dolazi do temprature t_{pr} (vidi sjecište T).

11.343.2 Posljedice napetosti

11.343.21 *Neplastično područje*

Pretpostavimo da se dva određena dijela nekog predmeta ohlađuju s neke temperature t_0 (manje od t_{pr}) na sobnu temperaturu, i to različitim brzinama hlađenja. To može u praksi biti slučaj npr. zbog razlike u hlađenju između unutrašnjosti i površine. Oba se dijela hlađenjem stežu, ali različito uslijed različite brzine hlađenja. Prvi dio stezao bi se nekom brzinom v_1, drugi brzinom v_2, ali su oni međusobno spojeni pa ne mogu »postupiti« samostalno. Stoga je jedan od tih dijelova razvlačen, drugi stlačivan; između

njih vlada **napetost.** I na početku i na kraju hlađenja ta napetost više ne postoji, no između tih faza ona ipak ima stanovitu vrijednost, različitu od 0.

Ako su ti iznosi toliko mali da se mogu kompenzirati (elastičnošću dotičnog materijala, u dotičnom području), neće doći ni do kakvih posljedica. Ako su, međutim, oni prešli granicu elastičnosti, nastupit će trajna deformacija pa će doći do tzv. **hladnog izobličenja.** Premaše li pak napetosti vlačnu čvrstoću, na predmetu će se pojaviti tzv. **hladna pukotina.**

11.343.22 *Plastično područje*

Uzmimo slučaj da se hlađenje izvodi od t_0 do t_1 ($t_1 > t_{pr}$). U području plastičnosti dolazi do popuštanja između onih dijelova koji se deformiraju različitim intenzitetom pa se nastale deformacije u njima izjednačuju (jer nema većeg otpora). Time se napetosti poništavaju već prije samog postanka. Nikakva razlika u temperaturi pojedinih dijelova ne može prouzročiti ispoljavanje posljedica, osim ako dolazi do izmjena u temperaturi s različitim brzinama, na različitim dijelovima predmeta. Tada se, naime, opet događa da jedan od dijelova bude razvlačen, a drugi stlačivan. U tom slučaju postoji, dakle, sličnost s onim u području neplastičnosti, dapače s istim konačnim rezultatom, tj. tako da ni na početku ni na kraju nema nikakvih toplinskih napetosti.

Ako napetost koja postoji tokom hlađenja nije premašila granicu elastičnosti (ona je u tom području, dakako, vrlo niska), neće na predmetu biti nikakvih tragova jer su i napetosti bile elastičnog (tj. povratnog) karaktera pa su nestale. U protivnom slučaju nastupit će tzv. **toplo izobličenje,** a nakon toga eventualno i tzv. **topla pukotina** — analogno onome u neplastičnoj zoni. Takva pukotina nastaje uvijek na području vlačnog naprezanja, bilo na površini ili u unutrašnjosti tijela.

U praksi prevladava slučaj da hlađenje teče kroz više područja, tj. sve od $t_0 > t_{pr}$ do sobne temperature. Pri tome će biti najvažniji **moment** kad čitav predmet dođe u neplastično stanje pa prestaje popuštanje napetosti između raznih dijelova predmeta, koje je bilo karakteristično za plastično područje. Ako se **do tog momenta** napetosti raznih dijelova nisu međusobno poništile, one se mogu sada čak zbrajati s napetostima koje će se razvijati pri daljnjem hlađenju. Iako te pribrojene komponente postepeno padaju na nulu, u predmetu će ipak ostati napetosti zatečene u spomenutom momentu pa će se predmet kao cjelina izobličiti, tj. produžiti ili skratiti.

Ako taj moment nastupi **nakon** poništavanja, rezultat će biti isti, a deformaciju će izazvati naknadno razvijene napetosti, koje se zbrajaju sa zatečenim napetostima.

Mada su one iz razdoblja neplastičnosti na kraju opet nestale, ostale su ipak tzv. zatečene napetosti. Karakteristike su, dakle, obrnute, a posljedice praktički iste.

Postoji, dakako, i slučaj da čitav predmet dođe u neplastično stanje, i to upravo u trenutku kad su se brzine promjena temperature za oba promatrana dijela izjednačile pa između njih nema napetosti. To je najpoželjniji slučaj jer od toga momenta dalje, premda se napetosti i dalje razvijaju (uslijed mjestimičnih razlika u temperaturi), one će ipak opet nestati čim se hlađenje približi kraju. Do izobličenja neće doći, niti do ikakvih zaostalih napetosti.

Da bi se, stoga, izbjegle napetosti i njihove nepoželjne posljedice, treba:

- u neplastičnom području održavati **umjerenu razliku temperature** na pojedinim međusobno spojenim dijelovima, i pri grijanju i pri hlađenju, pazeći ujedno da ni u jednom trenutku nastala napetost ne prekorači granicu elastičnosti;
- za vrijeme grijanja ili hlađenja u plastičnom području mora i **razlika u brzinama** biti odgovarajuće malena;
- u momentu prijelaza čitavog predmeta iz plastičnog u neplastično stanje **razlika u brzinama hlađenja** mora biti **jednaka nuli.**

Ako su ispunjena sva ta tri uvjeta, predmet će, pošto se ohladi na sobnu temperaturu, biti bez ikakvih pukotina i bez izobličenja i prikrivenih napetosti. (Vidi primjere pri žarenju, kaljenju itd.)

11.343.23 *Prikrivene napetosti*

Ako na prijelazu iz plastičnog u neplastično stanje nije bio ispunjen posljednji od prije spomenutih uvjeta, ostat će u predmetu nakon hlađenja **prikrivene** napetosti. One su vrlo nepovoljne jer dolaze do izražaja tek kasnije, tj. prilikom tehnološke obrade ili tek pri upotrebi. Ispoljavaju se izobličavanjem ili čak raspucavanjem iako nema preopterećenja (prema proračunu). Razlog je razumljiv: dio otpornosti materijala iskorišten je na svladavanje prikrivenih napetosti, a ostatak je premalen da bi pokrio proračunsku čvrstoću.

Budući da se naprezanja od opterećenja i od napetosti zbrajaju, trebalo bi ih i u proračunu pribrojiti naprezanjima koja treba predvidjeti tokom rada dotične konstrukcije. Većinom su prividne napetosti konstruktoru nepoznate i zato to neugodnije.

11.35 TOPLINSKA OBRADA ČELIKA

11.351 Utjecaj vremena na pretvorbu strukture

Za suštinsko shvaćanje toplinskih pojava potrebno je razmotriti kakav utjecaj ima **vrijeme** na pojedine procese, tj. od kolike je važnosti održavanje **jednake** temperature (izotermička stanja) i od kolikog su značenja **različite brzine** za rezultate koji se od toplinskih promjena mogu očekivati. Vidjeli smo već mnogo puta da se pri hlađenju slitina pojavljuju sasvim druge faze ako se radi o laganom hlađenju nego pri brzom hlađenju, no odgodili smo pobliže razmatranje tih činjenica. Osim toga, sam Fe—C-dijagram nije dovoljan da bi se mogla pratiti brzina toplinskih promjena, budući da je dvodimenzionalan pa se faktor **vrijeme** uopće nije mogao uzeti u obzir, iako je ono od osnovne važnosti za rezultate.

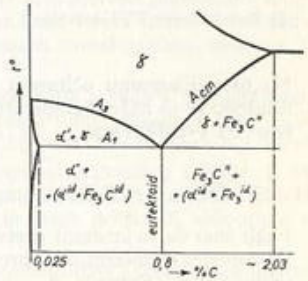
Sjetimo se bilo koje pretvorbe, na primjer austenita u eutektoid ($\alpha^{id} + Fe_3C^{id}$). Za raspad austenita potrebna je difuzija jer se njegovi dijelovi koji prelaze u α-ferit moraju pomoću difuzije riješiti suviška ugljika budući da ferit može sadržavati najviše 0,025% C.

S druge strane, dijelovi koji prelaze u cementit moraju se također difuzijom nadopuniti atomima ugljika da bi došli na stehiometrijski postotak 6,687% C. Obratno je pri grijanju: da bi od komponenata (ferit sa 0,025% C i cementit sa 6,687% C) nastao austenit (0,8% C), potrebna je opet — difuzija.

Treba, međutim, naglasiti da difuzija zahtijeva stanovito **vrijeme:** teoretski beskonačno, a praktički neku određenu vrijednost. Ako se ono suviše skrati, promjena se neće dovršiti ili će čak sasvim izostati. Budući da je difuzija jedan od osnovnih (katkad isključivih) procesa, vidimo da je za pretvorbu strukture vremenski podatak isto tako bitan kao i temperatura i koncentracija.

Otprije znamo da se pretvorba strukture izvodi duž graničnih krivulja ⑱:

- A_1 (raspad austenita pri temperaturi 723°C na autektoidni ferit i autektoidni cementit pri hlađenju, odnosno, obratno, pri grijanju)
- A_3 (odvajanje α-ferita iz austenita pri hlađenju, odnosno završetak rastvaranja α-ferita u austenitu pri grijanju)
- A_{cm} (odvajanje sekundarnog cementita — pri hlađenju, odnosno završetak rastvaranja cementita u austenitu pri grijanju)



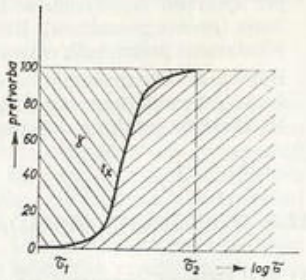
⑱ Područje toplinske obrade u Fe—C dijagramu

Sve su to pojave difuzije, koje se potpuno izvršavaju samo ako ima dovoljno vremena za te promjene.

11.352 TTT-dijagram

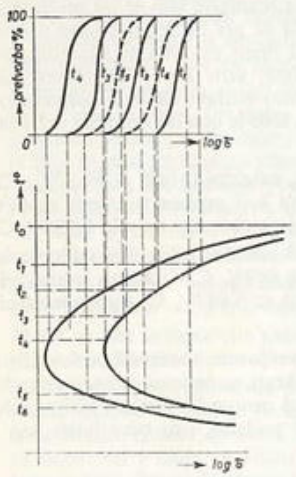
Predočimo sebi dijagramski takvu promjenu ㊹. Razmotrimo, na primjer, pretvorbu austenita u bilo koju susjednu fazu iz Fe—C dijagrama, i to kod povoljne, ali **stalne** temperature t_x!

Apscisa neka je vrijeme, uzeto logaritamski (da bismo skratili dijagram). Pretvorba ne počinje odmah (!) već nakon stanovitog vremena τ_1. U početku se odvija sporo (stvaranje uvjeta — klica itd.), a zatim se nastavlja intenzivno. Kasnije se proces uspori jer je na domaku zasićenje za dotičnu temperaturu. Konačno pretvorba prestaje u momentu τ_2. Time nije rečeno da je ta pretvorba završena, tj. provedena do kraja, no ona **prestaje** kao da je obavljena sa 100% u vremenskom odsjeku $\tau_2 - \tau_1$.



㊹ Izotermna pretvorba strukture

Da bi se pretvorba mogla nastaviti, treba prijeći na neku novu temperaturu (npr. pri hlađenju na nižu temperaturu). Ako se promatra daljnja pojava pri toj novoj stalnoj temperaturi, pretvorba će se nastaviti u toku nekog vremenskog odsječka $t_x - t_y$.



㊺ Konstrukcija TTT-krivulja

Razmotrimo li veći broj takvih izotermičkih procesa pri nekom hlađenju, npr. za stalne temperature t_1, t_2, t_3, t_4 odjednom, a koje slijede uzastopce, dobit ćemo situaciju prema ㊺. Tu smo išli dalje pa smo vremenske odsječke za svaku krivulju pretvorbe projicirali u dijagram $t° - \log \tau$. Time njihove projekcije padaju u one horizontale donjeg dijela dijagrama koje označavaju nivo dotičnih temperatura. Početke tih projekcija smo zatim spojili, a isto tako i njihove završetke, pa smo dobili dvije pridružene krivulje od kojih lijeva prikazuje početke, a desna završetke pretvorbe, donekle koncentrične, **između kojih** se, dakle, odvijaju pretvorbe pri raznim temperaturama. Pri tom pothlađivanju su temperature bile sve niže. No u prvom dijelu je (za temperaturu t_1 do t_4) brzina pretvorbe najprije rasla (vidi sve veće micanje krivulja ulijevo), a zatim je padala (vidi t_5 i t_6, koje sve više »oklijevaju« pa se njihovi počeci pomiču udesno, tj. u smjeru većeg τ).

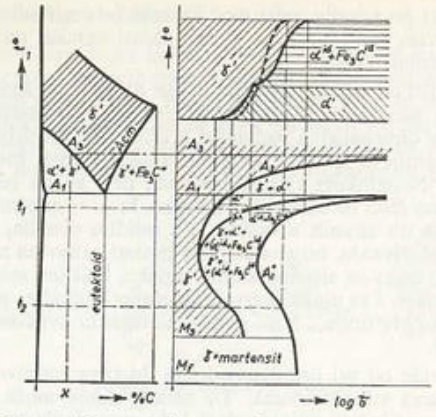
I grijanje i hlađenje znače za strukturu udaljavanje od ravnoteže, tj. porast nestabilnosti. To ubrzava pretvorbu, koja u početku teško »kreće«. Međutim, nakon stanovitog udaljenja od ravnoteže prolazi se kroz sve niže temperature (krivulje t_5 i t_6), gdje se smanjuje mogućnost difuzije pa time jenjava i pretvorba.

Na tom dijagramu očitavaju se, dakle, tri podatka: temperatura, vrijeme i pretvorba Engleski se to kaže **T**emperature — **T**ime — **T**ransformation, pa stoga to obično i **zovemo TTT-dijagram.**

11.352.1 Primjer TTT-dijagrama

Rekli smo da se austenit pretvara (raspada, odnosno rastvara) duž krivulja A_1, A_3 i A_{cm}. Razmotrimo izotermičku pretvorbu austenita prosječne koncentracije x u podeutektoidni čelik! (Krivulja A_{cm} nam, dakle, neće trebati.) ㊻.

Krivulja pretvorbe u desnom dijagramu će se za temperaturu pothlađenja t_1 sastojati od dva dijela, tj. od dva vremenska odsječka. Prvi se odnosi na postanak ferita α', a drugi



㊻ Izotermična pretvorba austenita u podeutektoidni čelik

na nastali eutektoid ($\alpha^{Id} + Fe_3C^{Id}$), vidi gornji dio desnog dijagrama. Ali za neku nižu temperaturu t_2 ta će izoterma biti jedinstvena (prikazana crtkano), označavajući simboličnu pretvorbu austenita.

Kako vidimo na tom TTT-dijagramu, austenita γ' ima duž čitave lijeve strane uz A_3 krivulju na dolje (vidi šrafirano područje), dakle i pri razmjerno niskim temperaturama, tj. sve do linije M_s, koja označuje početak tzv. **martensitne** pretvorbe (o tome kasnije).

Granica A_1 je, dakle, prevedena u desni dijagram tako da siječe lijevu krivulju A_3 (krivulja početne pretvorbe) i asimptotički graniči s krivuljom A_1'. Sad vidimo i postanak pojedinih **faza**, što se na Fe—C dijagramu nije moglo prikazati. Jedna od tih je područje pretvorbe austenita, karakterizirano pojavljivanjem primarnog ferita, a druga nastajanjem još eutektoidnog ferita i cementita. Luči ih krivulja A_1'. Najtemeljitija je pretvorba austenita upravo u području gdje se krivulja A_1' odvaja od A_3 (najuže područje šrafirane površine), pa je to i područje najvećeg intenziteta raspadanja, tj. pretvorbe. Ako ohlađivanje ubrzamo, snižavajući temperature, doći će i do **kritične brzine hlađenja** pri kojoj se iz austenita počne razvijati isključivo **martensit.** Ta pretvorba započinje na liniji M_s, a traje do linije M_f.

11.352.2 Položaj TTT-krivulja

Pri konstrukciji krivulja početka i završetka pretvorbe nismo definirali njihov apscisni položaj iz kojeg bi se između ostaloga vidjelo koliko se pretvara austenit i koliko ga (i kod koje temperature) ostaje nepretvorenog. Što su te krivulje više pomaknute ulijevo prema osi ordinate, to ranije počinje pretvorba pri određenoj temperaturi — i obratno: što više one leže udesno, kasniji je početak. Razmotrimo metalografsko značenje tih pomaka!

Osnovni je pokretač pretvorbe — difuzija. Njezina moć raste i pada s temperaturom; pri normalnoj temperaturi je i nema (kod čelika). Postoje u tome, dakako, i neke razlike za pojedine vrste čelika, ovisno o sastavu, no one nisu bitne za ovo osnovno tumačenje.

Osim temperature difuzija ovisi i o ishodnoj izvitoperenosti austenitne rešetke, a izvitoperenost dalje ovisi o sadržaju stranih atoma i o njihovoj veličini. Što manje ima čelik stranih primjesa i što su manji njihovi atomi, to više ih može prihvatiti austenitna rešetka pa je difuzija to veća.

To utječe na položaj TTT-krivulja, koje su to bliže osi ordinate (pomaknute ulijevo), što je moć difuzije veća, a to je npr. slučaj kod čelika s malim postotkom ugljika. Kod njih tjeme krivulje početka pretvorbe austenita siže i do same osi ordinate. Inače, ugljični

čelici kao cjelina imaju po pravilu veću moć difuzije od legiranih čelika, koji sadržavaju elemente s mnogo većim atomima nego što su atomi ugljika, pa su i tjemena njihovih TTT-krivulja odmaknuta udesno.

Kasnije ćemo primijetiti da položaj tjemena utječe na veličinu **kritične brzine** hlađenja pri termičkoj obradi, kao karakteristike prokaljivosti. No, istaknimo ponovo, tehnika difuzije temelji se i na dimenzijama sudionika u difuziji. Pretvorba u **tješnju** prostorno-centriranu rešetku zahtijeva iseljenje mnogih stranih atoma, među njima i razmjerno malih atoma ugljika. Neugljikovi atomi, kao veći, prvi su na redu za iseljenje, pa je, na primjer, ferit znatno čišći od njih nego ishodna faza — austenit. Cementit, naprotiv, prima veći broj atoma tih stranih sastojaka. Tu selidbu obavlja, dakako, difuzija, koja, međutim, slabi pri ohlađivanju, no ona će prije postati nemoćna za velike atome (koje je teže useliti u rešetku) nego za sićušne atome ugljika, koji još mogu nastaviti taj proces ulaženja. Kad se napokon i za ugljik iscrpi mogućnost difuzije, pojavljuje se neizbježno područje »martensita« (M_s linija), koji, dakle, u pogledu svih sastojaka ima isti sastav kao i ishodni austenit.

Pomicanje TTT-krivulje od osi ordinate udesno ilustrira zapravo **zakašnjavanje** pretvorbe uslijed iseljavanja stranih atoma. To zakašnjavanje može se regulirati legirnim dodacima. U protivnom slučaju lako će doći i do zaostajanja pretvorbe pri snižavanju temperature, pa i do ukinuća. U tom slučaju austenit se smatra stabiliziranim, tj. otpornim protiv pretvorbe, no on ipak razvija, tokom ohlađivanja, određene faze koje će se smatrati klicama (za postanak »donjeg bejnita«), ali su posve martensitnog karaktera.

Naglasimo na kraju da svaki čelik ima svoj TTT-dijagram, koji željezare i izdaju za svoje proizvode.

11.352.3 Što se dobiva pretvorbom austenita?

S obzirom na to da li je omogućena potpuna ili samo djelomična difuzija ili je ona posve onemogućena (a sve to zavisi od brzine hlađenja) možemo rezultate pretvorbe austenita podijeliti u tri skupine:

- **eutektoidi,** koji nastaju pomoću snažne difuzije (zovu se još »pravim«, tj. **ortо-**-eutektoidima); smatramo ih, dakle, skupinom **difuzijskih** proizvoda pretvorbe;
- **bejniti** [bainit], koji nastaju pri **oslabljenju difuzije** pa ih smatramo proizvodima slabe difuzionosti; stručno se još zovu **paraeutektoidima** (para = slab, nepotpun);
- **martensit,** koji nastaje pri potpunom prestanku difuzije (uz naglo hlađenje).

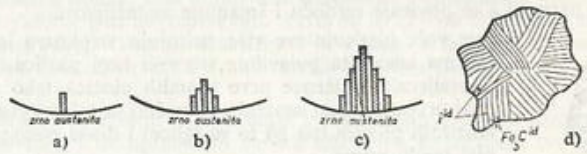
Kako na difuziju u najvećoj mjeri djeluje raspoloživo vrijeme, bit će nam jasno da se navedene pretvorbe ne mogu postići samim **zadržavanjem** na određenoj temperaturi već i odgovarajućom brzinom hlađenja. U tablici 3. imamo pregled proizvoda u koje se pretvara austenit:

Pretvorbe austenita Tablica 3.

		Zadržavanje na temperaturi °C	Tvrdoća po Rockwellu	Debljina cementitnog sloja (μ)
Lamelarni perlit		723	20	80
Sorbit hlađenja		650	30	40
Troostit hlađenja		550	40	20
Paraeutektoidi	Gornji bejnit	400	>40	iglice (neizrazite)
	Donji bejnit	300—350	~55	iglice (izrazite)
Martensit		linija M_s	>60	tetragonska rešetka (prostorno centrirana)

Kako nastaje lamelarna struktura?

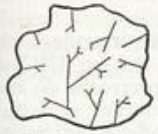
Začetak raspada može nastati na jednom ili na više mjesta istodobno, i to na granici izvornog austenitnog zrna. Redovito su ta mjesta već bogata ugljikom; nedostaje im možda samo još po koji atom pa da stvore jezgru cementita. Ovaj se nađe obično u feritu, koji se ionako nastoji osloboditi ugljika jer ga može rastvoriti najviše do 0,025%. I cementitu i feritu, dakle, odgovara takva međusobna izmjena ugljika pa jedan kraj drugog počnu stvarati štapiće, koji sve više zadiru u nutrinu zrna asustenita (47).



(47) Postanak lamelarne strukture

Budući da na jednom zrnu austenita duž njegove granice počinje taj proces, i to na **raznim** mjestima, možemo sebi predočiti da se te lamelne grupe, rastući prema centru, prije ili kasnije sukobe međusobno i zaustave u rastenju. Na taj način je od jednog zrna austenita nastalo po nekoliko razno usmjerenih zrna eutektoida (47)d. Jasno je da će nastajati utoliko tanje lamele što je niža temperatura te pretvorbe jer je time smanjena moć difuzije. Tada, naime, doseljavanje i odseljavanje ugljikovih atoma zahvaća sve uže prostore pa lamele cementita i ferita ostaju sve tanje.

Za postanak bejnita je, naprotiv, već u osnovi moć difuzije toliko manja da se seljenje ugljika obavlja samo u ograničenoj mjeri. Ferit se stoga ne može riješiti čitavog viška ugljika pa postaje prezasićen i nešto izvitoperen. I cementit se može razvijati tek mjestimično, tj. samo ondje gdje već izvorno ima dovoljno ugljika. Nešto ugljika dobiva i iz ferita, ali ne dovoljno da bi se mogao razviti u duže lamele. Čitava je struktura, dakle, nepravilnija, ali ipak usitnjena, pa joj to daje povećanu tvrdoću.



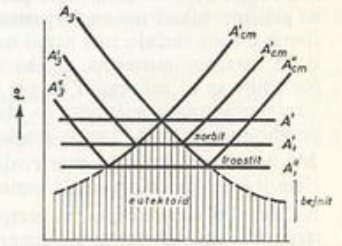
(48) Struktura donjeg bejnita

Za **donji bejnit** se smatra da nastaje iz prvih klica martensita, još prije nastupa temperature M_s. Zato ga još zovu »pseudomartensit«. Igličaste je strukture (48), tj. gusta mješavina ferita i cementita, dakle sličan eutektoidu. Zbog neznatne difuzije vrlo je usitnjen pa je razmjerno visoko žilav.

Eutektoidna područja svih gornjih faza razlikuju se od onoga što otprije znamo iz dijagrama Fe—C.

Značenje eutektoidne koncentracije se, naime, mijenja, tj. ne postoji samo jedan određeni odnos koncentracije, kao npr. 0,8% kod slitine Fe—C (pri kojem se austenit pretvara u eutektoid bez ikakva prethodnog izlučivanja neke druge faze). Proizvodi difuzijske pretvorbe nastaju pri nižim temperaturama nego eutektoid pri 0,8% C. Sva ta pothlađenja **proširuju** područja takve direktne pretvorbe austenita, to više što je pothlađenje veće.

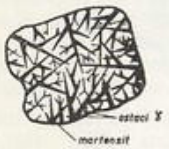
Struktura **čistog sorbita,** dakle bez ferita α', odnosno Fe_3C'', dobiva se pri širem području koncentracije nego struktura čistog perlita. Još je šire područje koncentracije za strukturu **čistog troostita.** Napokon, za **čisti bejnit** može se reći da nastaje pri svim koncentracijama primarnog austenita (49).



(49) Područja sorbita, troostita i čistog bejnita

11.352.4 Martensit

Na ㊻ smo vidjeli granicu M_s, pri kojoj se neposredno u zrnu austenita počnu pojavljivati pločice nove strukture, prelazeći iz plošno-centrirane rešetke u neku prostorno-centriranu rešetku tetragonalnog tipa — u martensit. Zbog razmjerno niske temperature difuzija je ovdje potpuno izostala. Ugljik se ne može izdvojiti iz rešetke pa se neki parametri manje skraćuju od ostalih, a ugljik se uključuje u jednoj ili više novih ploha prostorno-centriranog tetragona. To uzrokuje veliku izvitoperenost jer se produžuje sad jedan, sad drugi parametar, već prema tome na kojem se mjestu prijašnje rešetke austenita nalazio atom ugljika. Izvitoperenost je sad razmjerna s prezasićenošću ugljikom; klizni pravci nestaju, a to povisuje tvrdoću i smanjuje rastežljivost.



㊼ Martensitne pločice u »ostatnom« austenitu

Sve veće hlađenje sve više usitnjuje strukturu jer se među kristalima austenita pojavljuje sve veći broj pločica martensita. One ispresijecaju smjerove prvo nastalih pločica tako sa se na kraju onaj prvotni kristal austenita pretežno sastoji od gustog spleta martensitnih pločica (na ㊼ to su iglice) i dosta malog **ostatka** austenita među njima.

Velika tvrdoća i krhkost martensita dolazi, dakle, i od izvitoperenosti rešetke i od velike disperznosti (razdrobljenosti) čitave strukture. Daljnji je razlog tvrdoći i krhkosti postojeća »mikronapetost«: martensitna struktura ima **najveći** relativni volumen, dok austenitna ima **najmanji.** Kako martensit nastaje na granicama austenitnih zrna i prodire u njih, dolazi do mjestimičnih deformacija ne samo u rešetki već i u čitavom materijalu. Uslijed tih napetosti povisuje se pritisak u kristalnoj masi sistema austenit-martensit, a to sprečava nastajanje i prodiranje u austenitna zrna novih martensitnih pločica. Drugim riječima, pojavljuje se M_f crta (M_{finis}). Nema, dakle, ovdje **potpunijeg** prijelaza nego samo praktički prestanak pretvorbe tako da na kraju još ipak nalazimo tzv. **ostatni austenit.**

Već smo pri TTT-dijagramu primijetili da jedan dio austenita nije bio zahvaćen pretvorbom. On se praktički ne može ukloniti. Štaviše, ako neki čelik ima M_f ispod normalne temperature, ostat će u njegovoj strukturi još više austenita jer u tom slučaju, silazeći pri hlađenju na normalnu okolišnu temperaturu, zapravo prekidamo pretvorbu još prije negoli smo postigli M_f (vidi kasnije tzv. ledeno kaljenje).

Redovit je slučaj, kad jednom započne određena pretvorba, da se ona ostvaruje u tolikoj mjeri koliko čelik držimo na dotičnoj temperaturi. Ako se striktno držimo TTT-dijagrama, tj. ako idemo do krivulje završetka pretvorbe, ostvarit će se pretvorba do kraja i u čeliku više neće biti austenita. Kod martensita je, međutim, drukčije: ne odlučuje vrijeme, nego temperatura. Pretvorba će prestati onda kad je iscrpljeno dotično temperaturno stanje i dalje će se pretvaranje nastaviti tek uz nižu temperaturu. Pri difuzionim pretvorbama je temperatura utjecala samo na vrstu pretvorbe, a za količinu je bilo mjerodavno vrijeme. Martensit, kao nedifuzna pretvorba, ne zavisi od vremena.

Što se zbiva s martensitom ako ga zagrijavamo?

Metalografi su utvrdili da to nije jednostavno vraćanje u ishodno stanje prolazom kroz ista stanja koja su se javljala pri hlađenju. Razlog toj nepovratnosti uglavnom je to što se grijanje nikad ne može provesti takvom brzinom kao hlađenje. Osim toga, ishodno stanje u tom slučaju nije samo martensit nego — kako vidjesmo — kombinacija martensita i ostatnog austenita. Svaka se od tih faza prilikom grijanja pretvara na svoj način. Ne smije se ni zaboraviti da pri grijanju **sporo** ohlađenog čelika imamo kao polaz samo faze raspadnutog austenita — dakle **bez ostatka** samog austenita pa se može zamisliti povratnost procesa, bar u pogledu strukturne rešetke.

Međutim, pri grijanju martensita polazimo istodobno i od završne i od ishodne faze (izmiješane) pa se ostvaruje samo povratak završne faze (martensitnog dijela).

Na temelju raznih hipoteza pretpostavlja se ovaj proces: neposredno iznad 300°C nastaje struktura začetka ferita i cementita, s usmjerenjem koje je karakteristično za martensit, pa se neke razlike i ne mogu primijetiti na rešetki, čak niti pod mikroskopom.

Tvrdoća pada na 40—55 Rc, već prema sadržaju ugljika. I ta se struktura može nazvati pseudomartensitnom.

Pri temperaturi 400°C martensit se pretvara u **troostit popuštanja** kod kojeg je gotovo ostvarena razdrobljena smjesa ferita i cementita. Struktura je tamno igličasta, a tvrdoća 30—50 HRc, pa se primjenjuje kod opruga (zbog vrlo visoke granice elastičnosti); ujedno je to struktura otporna protiv trošenja površinskim trenjem.

Pri popuštanju na još višu temperaturu (500—600°C) postiže se jednolična svijetla struktura igličastog oblika, koja je nazvana **sorbitom popuštanja.** Čestice su već toliko narasle da su vidljive pod mikroskopom. Tvrdoća je 25—40 HRc, već prema sadržaju C i temperaturi grijanja. Granica elastičnosti je visoka, a također je razmjerno visoka i udarna žilavost. Kao takva, ta je struktura vrlo povoljna za visoka — mirna i udarna — opterećenja.

Daljnje povišenje temperature popuštanja i približavanja temperaturi granice A_1 vodi i dalje zgrudavanju i ukrupnjivanju čestica cementita te sniženju tvrdoće do 20 HRc.

Počevši od popuštanja na temperaturu od 650°C i više dobiva se **zrnasti perlit,** kod kojeg se zrnca ferita i cementita već sasvim jasno razlikuju (uz pomoć mikroskopa) od perlita nastalog hlađenjem koji je **lamelarnog** oblika.

Ovdje smo grijanja na spomenute temperature nazivali »popuštanjem« — u skladu s onim što uzimamo kao definiciju takve promjene u poglavlju o toplinskoj obradi.

11.353 Vrste toplinske obrade

Toplinskom (termičkom) obradom skrućenog metala mijenjaju se njegova svojstva time što se metal, odnosno slitina bez promjene agregatnog stanja podvrgava raznim **toplinskim utjecajima** koji mijenjaju strukturu (zrnatost, napetosti, raspored kristala itd.). Postoji niz operacija toplinske obrade; one se općenito sastoje od ugrijavanja, zadržavanja na povišenoj temperaturi i hlađenja na normalnu temperaturu — sve s određenim intenzitetom. Ugrijavanje ih u stvari ponovo **dovodi u stanje ravnoteže,** a hlađenje im tu ravnotežu zadržava ili poremećuje, već prema brzini hlađenja.

Katkad se toplinske operacije kombiniraju s kemijskim (cementiranje itd.) pa i njih ubrajamo u toplinsku obradu šireg smisla.

Prikažimo najosnovnije karakteristike pojedinih vrsta termičke obrade!

11.353.1 Žarenje

Karakteristično je za sve vrste žarenja da nakon grijanja i držanja na određenoj temperaturi slijedi **lagano** hlađenje. To strukturu približuje stanju ravnoteže, koja ujedno znači najpogodniju priliku za stvaranje poželjne zrnatosti, uz uvjet da je hlađenje **ispravno** provedeno. U protivnu slučaju mogu se proigrati velike prednosti koje se inače nude postizavanjem stanja ravnoteže.

Takav primjer promašenog žarenja nastupa ako predmet **predugo** držimo na — inače pravilnoj — temperaturi jer to pospješuje sljepljivanje (koagulaciju) austenitnih zrna, a to može dovesti do prevelikog ukrupnjenja.

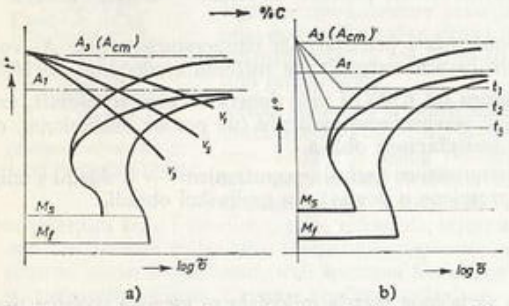
Razni su čelici različito skloni takvom ukrupnjenju. Neki naginju tome čim se prekorači temperatura modifikacije. Taj njihov nedostatak smatramo nasljednim odnosno **svojstvenim.** Drugi su čelici tipično sitnozrnasti. Kod svojstveno krupnozrnastih čelika treba se strože čuvati previsokog ili predugog grijanja. Redovito su u tom pogledu povoljniji legirani čelici i oni dezoksidirani aluminijem.

Kako treba hladiti žarene čelike?

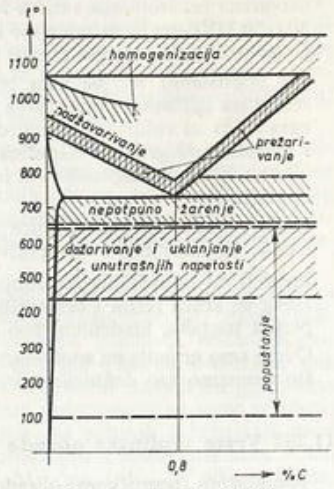
Načelno se žarenje smatra takvom termičkom obradom pri kojoj hlađenje teče onom brzinom po kojoj se austenit raspada u **ortoeutektoide.** To znači da se reguliranjem brzina — prema TTT-dijagramu na ㊽a — mogu dobiti: perlit (pri brzini v_1), sorbit

(pri v_2), troostit (v_3), ali nijedna od tih faza neće biti čista, već samo pretežna. To su, dakle, kombinirane strukture. Mnogo precizniji bit će sastav tih faza ako hlađenje provodimo izotermički u kupkama temperature t_1, t_2, t_3, tj. prema ⑤1b.

Nije uvijek potrebno hladiti slitinu **lagano** sve do sobne temperature. Većinom je dovolino hlađenje do 200°C jer je do tada sigurno svaki čelični predmet došao u neplastično stanje gdje više nema opasnosti od napetosti pa se otada može hlađenje ubrzati. Prikažimo još Fe—C-dijagram za pojedine vrste žarenja. ⑤2



⑤1 Hlađenje raznim brzinama (a) i raznim izotermama (b)



⑤2 Vrste žarenja u Fe—C dijagramu

11.353.11 *Rekristalizacijsko žarenje*

Materijal grijemo do stanovite temperature na kojoj se drži sve dotle dok ne nestane usmjerenost i pretjerana usitnjenost zrna. Obično to slijedi iza hladnog gnječenja, koje daje čeliku veliku tvrdoću i čvrstoću, a malu rastežljivost (vidi poglavlje »gnječenje«). Rekristalizacijskim žarenjem čeliku se vraća rastežljivost, a nešto mu se smanjuje tvrdoća i čvrstoća. Grijanje se obično vodi do temperature od kojih 600°C.

11.353.12 *Žarenje radi uklanjanja napetosti*

Tom se operacijom služimo vrlo često ako želimo ukloniti **napetosti** koje su nastale nekom prethodnom obradom, bilo zbog nejednoličnih unutrašnjih deformacija (pri prijelazu iz plastičnog u neplastično stanje) ili kao rezultat trajnih deformacija u neplastičnom stanju.

Grijanje se vodi dotle dok se te nejednolične deformacije uzajamno ne izjednače, a to se događa u plastičnom stanju, tj. približno na temperaturama oko 450—650°C, što znači znatno ispod A_1 granice.

Kako vidimo, pri tom žarenju se ne prekoračuju granice alotropskih modifikacija, ali ono vrijedi za slučajeve kad čelici **nisu** bili prethodno izvedeni **iz stanja ravnoteže** (npr. kaljenjem).

11.353.13 *Normaliziranje*

To vraćanje strukture u potpuno stanje ravnoteže zasnivalo se bilo na alotropskim promjenama (A_3 i A_1), bilo na promjenama koje se susreću na granici rastvorljivosti ugljika u austenitu (A_{cm}), i zbog kojih je struktura kristala izašla iz stanja ravnoteže pa je treba vratiti u **normalno** stanje. Ponekad se nakon grijanja poduzima nešto brže hlađenje, pa se dobiva eutektoid s vrlo tankim lamelama. Taj se postupak zove **subnormalizacijom.** Pri tome se pojavljuje dvostruka prekristalizacija zrna (prva pri grijanju, druga pri hlađenju), pa to sve zajedno nazivamo i **prekristalizacijskim žarenjem.** Temperatura normalizacijskog žarenja je oko 20 do 50°C iznad A_3, odnosno A_{cm}. Vraćanjem

strukture u ravnotežu materijal dobiva ponovo sva svojstva normalna kod dotičnog čelika. Redovito je to najvažnije za rastežljivost koja se na taj način (smekšavanjem) vraća čeliku, a ujedno nestaju i napetosti jer je čelik prošao kroz plastično stanje.

11.353.14 *Prožarivanje*

Ono je u pogledu postupka istovetno s normalizacijskim žarenjem, a svrha je **usitnjavanje prekrupnih** zrna. Ta zrna inače mogu biti normalna i po vrsti i po količini, ili kao posljedica neke loše provedene operacije, pa nastaju **prekrupna zrna** za dotičnu namjenu. Na primjer, čelični liv u sirovu stanju ima prekrupno zrno. Prožarivanjem se postiže prekristalizacija u austenit tako da se razvija sitno zrno austenita, koji se prilikom hlađenja raspada u još sitnija zrna. Previsokim i predugim grijanjem može se, medutim, izazvati suprotan efekt, tj. da se zrna austenita počnu sraščivati. Temperatura je oko 20 do 50°C iznad crte A_3, odnosno A_{cm}. Treba podsjetiti da se već prilikom grijanja krupni perlit i ferit pretvaraju u sitniji austenit, a pri ponovnom hlađenju ovaj se raspada u još sitniji perlit. To dvostruko usitnjavanje redovito se primjenjuje na čeličnom livu.

11.353.15 *Nadžarivanje (visoko žarenje)*

Suprotno od prethodnog slučaja, nadžarivanje ima svrhu pogrubljivanja zrna: podeutektoidni čelik (s niskim %C) grije se nešto više iznad granice A_3 pri čemu se zrna ukrupnjuju da bi se, na primjer, olakšala obrada rezanjem strugotine. Strogo uzevši, ukrupnjivanje ne približava strukturu stanju ravnoteže, no operacija se ipak sastoji od grijanja i laganog hlađenja, što je karakteristično za žarenje.

11.353.16 *Homogenizacija*

Da bi se difuzija što više povećala, radi ujednačenja kemijskog sastava koji je u nekoj prethodnoj operaciji bio pomršen, pribjegava se homogenizaciji. Grijanje se vodi do još viših temperatura jer to povećava difuziju, no pri tome se opet zrna ukrupnjuju, pa se nakon toga obično provede još prožarivanje.

11.353.17 *Sferoidizacija*

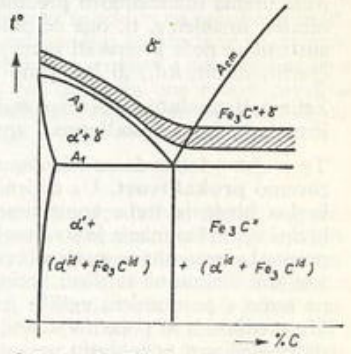
Ta se operacija smatra još »nepotpunim žarenjem«, a služi za postizavanje zrnatog oblika eutektoida, koji je mekši i žilaviji od lamelarnog. To se smekšavanje postiže grijanjem do temperature uz samu granicu A_1. Podeutektoidni sastavi griju se do neznatno ispod te granice, a nadeutektoidni do neznatno iznad nje. Iako nova zrnca nisu baš kuglastog oblika (»sfero«), ostao je naziv »sferoidizacija« kao karakterističan.

11.353.2 Kaljenje

Kaljenje se sastoji od dovođenja čelika u stanje **izvan ravnoteže,** tj. u martensitno ili bar bejnitno stanje. To znači **grijanje** čelika do iznad prekristalizacijskih granica A_3 (za podeutektoidni čelik), odnosno A_1 (za nadeutektoidni) čelik i **gašenje,** tj. hlađenje brzinom, većom od kritične, neposredno nakon toga. Sve one faze koje su nastale prilikom tog ugrijanja zadrže se i nakon gašenja.

Na taj način može se postići **otvrđivanje** čelika na vrlo visoku tvrdoću, ako je sadržaj ugljika iznad 0,4%C, odnosno ako raspolažemo odgovarajućim legirnim dodacima.

Mogli bismo još reći: kaljenje je naglo ohlađivanje iz austenitnog stanja. Austenit imamo iznad A_3 i A_{cm} krivulje, no za kaljenje nadeutektoidnih čelika ne idemo nikad preko crte A_{cm} jer nam na desnoj strani dijagrama pogoduje upravo sastav koji imamo iznad crte A_1, tj. sekundarni cementit, koji je još tvrđi od martensita! Na ⑤3 vidi se po-



⑤3 Područje kaljenja u Fe—C dijagramu

područje temperature do koje treba grijati. S lijeve strane idemo preko A_3 jer se želimo riješiti α-ferita, budući da je mekan, a iz njega ne možemo dobiti martensit.

U pogledu hlađenja (gašenja) moguće je postići razne brzine, i to odgovarajućim stredstvima kao što su: **rastopina sode, voda, ulje, mlaz zraka** i **miran zrak.**

Na površini predmeta hlađenje je znatno brže nego u jezgri. Ta razlika u brzini izaziva **toplinske napetosti.** Povoljniji su, dakle, čelici s manjom kritičnom brzinom hlađenja v_k jer ih možemo kaliti blažim sredstvima za gašenje pa će ostati manje toplinske napetosti. Treba, dakle, nastojati da se hladi **onom najmanjom brzinom koja još premašuje kritičnu brzinu hlađenja za dotični čelik.**

Katkad se može primijeniti **slomljeni način gašenja,** tj. najprije u sredstvu, koje snažnije hladi, npr. u vodi, a zatim u sredstvu s blažim djelovanjem (npr. u ulju). Time se smanjuju **toplinske** napetosti, razmjerno sa smanjenom razlikom u hlađenju između površine i unutrašnjosti. **Strukturne** napetosti se, dakako, time ne mijenjaju.

Još se bolje suzbijaju toplinske napetosti **stepeničastim** kaljenjem, što znači kraćim zadržavanjem u solnim kupkama (tj. do izjednačenja površinske i unutrašnje temperature) te gašenjem u vodi. I u tom slučaju ne otpadaju strukturne napetosti.

Opisanim postupcima postiže se **martensitna** struktura. Ako se, naprotiv, traži bejnit, primjenjuje se **izotermičko** kaljenje i to na čelicima istog tipa kao i za stepeničasto kaljenje, tj. s brzinama hlađenja koje se postiže u solnim ili olovnim kupkama. Ipak se pri izotermičkom kaljenju čelik drži u kupki tako dugo dok nije završena pretvorba austenita u bejnit. Tim se postupkom suzbijaju gotovo sve napetosti, i to ne samo toplinske već i strukturne (struktura je ovdje manje izvitoperena nego kod martensita). To se iskorišćuje za **ne**rezne alate, ukovnje itd.

Najzad, postoji i **ledeno kaljenje,** kao dopunska operacija hlađenja, kod čelika sa znatno nižom »M_f granicom« od sobne temperature. U tom slučaju ne bi ni došlo do zakaljenosti kad ne bismo gašenjem išli naniže (u posebnim hladnjacima) i to do temperature −40°C ili −80°C. Taj se postupak može u načelu nadovezati na bilo koji od opisanih postupaka, osim na izotermičko kaljenje.

11.353.21 *Prokaljivost*

Za praksu je od velike važnosti da li će pri stanovitom načinu hlađenja čelik biti dublje ili pliće zakaljen. Debljina zakaljenog dijela na presjeku nekog predmeta ovisit će o dubini onog sloja do kojeg se austenit pretvara **samo** u martensit. To će biti onaj sloj za koji još vrijedi uvjet kaljenja, tj. da stvarna brzina hlađenja bude veća od »kritične brzine« hlađenja, a to je, kako smo već rekli, ona brzina kod koje se iz austenita počinje razvijati isključivo martensit. Što se pak brzine tiče, poznato nam je da ona prirodno pada prema unutrašnjosti predmeta. Tako će negdje unutar predmeta redovito doći do njezina smanjenja, tj. ona će pasti ispod kritične brzine. U slojevima dubljim od toga austenit se neće pretvarati samo u martensit nego i u proizvode eutektoidnog karaktera (perlit, sorbit, itd.) ili čak samo u te proizvode.

Želimo li produbiti sloj martensita, moramo toliko povećati brzinu hlađenja da dobijemo potpuniju **zakaljenost,** znači stanje zakaljene (martensitne) strukture.

To svojstvo čelika da uz određenu brzinu hlađenja postigne dublji ili plići sloj martensita zovemo **prokaljivost.** Uz činjenicu da za razne čelike načelno postoji različita kritična brzina hlađenja treba konstatirati da je prokaljivost obrnuto proporcionalna kritičnoj brzini v_k, tj. što manje je stvarna brzina hlađenja v nadmoćna nad v_k, to prije će prestati pretvorba austenita u martensit pa će to plići sloj biti zakaljen. To znači da svi oni faktori koji djeluju na kritičnu brzinu v_k nekog čelika utječu i na prokaljivost pa ona raste ne samo s povećanjem ugljika nego i s legiranjem određenim elementima u tu svrhu. Usporedimo li tu pojavu s utjecajem dodataka na položaj TTT-krivulja, primijetit ćemo da prokaljivost povećavaju upravo oni legirni dodaci koji pomiču TTT-krivulje udesno.

To su redom svi elementi osim kobalta (pa i vanadija pri većem sadržaju). Idealna Fe—C--slitina ima oko 10 puta manju prokaljivost od običnog ugljičnog čelika s redovitim pratiocima.

Prokaljivost povećava najviše Mo, a zatim redom Cr, Mn, Ni, Cu, Si. Osim toga, na nju djeluju krupnoća zrna, homogenost austenita i temperatura s koje se provodi hlađenje.

11.353.3 Popuštanje

Struktura zakaljenih čelika posve je izbačena iz metalografske ravnoteže jer je hlađenje provedeno izrazito nestabilno. To ima za posljedicu pojavljivanje napetosti koje treba na neki način ukloniti. Takav toplinski postupak zovemo **popuštanje.** Sastoji se od grijanja zakaljenih čelika do temperature nešto ispod A_1, čime se materijal donekle približi stanju ravnoteže (djelomična stabilizacija) pa se zatim lagano hladi.

Na taj način se metalu vraća nešto rastežljivosti, poboljšava se čvrstoća protiv udara i sl. Tvrdoća se smanjuje, a isto tako krhkoća i napetosti, pa se taj postupak s pravom naziva »popuštanje«. Već prema odabranoj temperaturi popuštanje se dijeli u nisko, srednje i visoko.

11.353.31 *Nisko popuštanje*

Nisko popuštanje zasniva se na grijanju do temperatura pri kojima čelik još ne gubi tvrdoću postignutu kaljenjem. Za ugljične čelike to je otprilike 220°C pa se smanjuju i krhkost i mikronapetosti martensita. Primjenjuje se svagdje gdje je gašenje teklo tako da se austenit direktno pretvarao u martensit pa su stoga nastale mikronapetosti (izravno, slomljeno ili stepeničasto).

11.353.32 *Srednje popuštanje*

Ono se sastoji u grijanju od 350 do 500°C, a oslobađa čelik i od strukturnih i od toplinskih napetosti. Rastežljivost se djelomično vraća pa materijal postaje žilav i otporan protiv udaraca (ukovnji, opruge).

11.353.33 *Visoko popuštanje*

Visoko popuštanje zahtijeva grijanje na više od 500°C. Ono ukida sve napetosti te vraća čeliku žilavost i visoku granicu elastičnosti. Ne smije se, dakako, prijeći A_1-granica jer bi to poništilo efekt kaljenja.

Pri svakom popuštanju potrebno je tačno održavanje temperature. Za grijanje može služiti bilo koja peć, ali su najbolje kupeljne peći.

11.353.34 *Samopopuštanje*

Samopopuštanje je posebna vrst toplinske obrade, koja se povezuje s kaljenjem u jednu operaciju. Nakon grijanja do temperature kaljenja predmet se podvrgne gašenju prikladnom brzinom, ali ne potpuno, tj. samo dotle dok se na površini ne postigne po mogućnosti temperatura M_f. Tada se predmet izvadi iz rashladnog sredstva i odloži pa se čeka da preostala unutrašnja toplina izbije na površinu. Na taj način ona ostaje dovoljno tvrda, a za unutrašnjost se smatra da uopće i nije zakaljena. Primjenjuje se, dakle, za dijelove koji treba da budu otvrdnuti samo na površini.

11.353.35 *Stabilizacija (umjetno starenje)*

Stabilizacijom se smatra popuštanje u slučaju kad se zakaljenom čeliku nastoji osigurati dimenzionalna postojanost (ili, na primjer, magnetičnost, oblik kalibara itd.). Stabilizacijom se ubrzava promjena koja bi inače nastala prirodnim putem tek nakon duljeg vremena. Od toga treba razlikovati **prirodno starenje** difuznog karaktera. Tetragonalni martensit ispušta s vremenom dio ugljika i pretvara se u manje izvitopereni kubni martensit. Prezasićenost ugljikom mu, dakle, opada, a time i tvrdoća i krhkoća pa gubi i dio strukturnih napetosti. Uz to dolazi i do promjene dimenzija i nekih fizičkih svojstava (npr. magnetičnosti).

Popuštanjem možemo namjerno i kontrolirano izazvati te pojave a brzim postupkom možemo ih čak i dokrajčiti te na taj način predusresti prirodno starenje.

Međutim, ako nepetosti nisu izazvane kaljenjem, već nekim drugim toplinskim postupcima (npr. lijevanjem, zavariranjem), onda se stabilizacija ostvaruje bilo prirodno, tj. dugotrajnim odležavanjem, bilo umjetno, tj. grijanjem. Takvo umjetno starenje spada onda, dakako, u kategoriju žarenja (radi uklanjanja napetosti), a ne popuštanja. O starenju vidi i stavak 11.333.5.

11.353.4 Poboljšavanje

Ako postupak, srodan kaljenju, primijenimo na nelegirane čelike s malo ugljika (do 0,4%), kao i na neke legirane čelike, učvrstit će se one faze koje ne daju veliko povišenje tvrdoće, nego samo povećavaju druga mehanička svojstva (čvrstoću i granicu elastičnosti). Provede li se iza toga još umjereno grijanje s naknadnim postepenim hlađenjem, takav se proces naziva **poboljšavanjem.** Ono napose povisuje žilavost. Suštinski se, dakle, poboljšavanje u svom prvom dijelu sastoji od **kaljenja,** a u drugom od **visokog popuštanja.**

Poboljšavanje ima osobito značenje za konstruktivne čelike kojima nedostaje žilavost. U pogledu alatnih čelika primjenjuje se samo kod kalupa za toplu obradu (npr. kovački ukovnji).

Suština poboljšavanja je u pretvaranju **lamelarnog** eutektoida — preko martensita — u zrnasti eutektoid. I to je, dakle, otvrdivanje, kojem, međutim, nije svrha postizanje martensita, već taj martensit služi samo kao prijelazna etapa preko koje se lamelarni eutektoid pretvara u zrnast. Prema tome, težište nije u samom kaljenju, nego je popuštanje jednako važan dio postupka.

Poboljšavanje se, dakle, bitno razlikuje od kaljenja u svrhu **otvrđivanja.** Otvrđivanje, naime, načelno znači postizavanje martensita (ili pseudomartensita) kao **konačnog** stanja pa mu može slijediti samo **nisko** ili, u najbolju ruku, **srednje** popuštanje. Svrha je prije svega tvrdoća pa se uzimaju čelici s više od 0,4% C ili odgovarajući legirani čelici. Kod nižeugljičnih čelika ne može se formirati tetragonalni martensit, već samo kubni, s manje izvitoperenom rešetkom.

U prikazu standardnih čelika vidjet ćemo posebnu skupinu čelika prikladnih za poboljšavanje (tablica 11.52-20).

11.353.41 *Toplinska obrada brzoreznih čelika*

Brzorezni čelici održavaju tvrdu oštricu tokarskih noževa i na visokim temperaturama koje se razvijaju pri rezanju metala. To omogućuju legirni dodaci, prije svega **W** i **Mo,** a i Cr, V, Co. Uz to brzorezni čelici sa 18% W sadržavaju većinom 0,7 do 0,8% C. Znači, nešto su podeutektične koncentracije. U svrhu kaljenja treba ih grijati na temperaturu 1 260 — 1 300°C, a ne na 840°C kao obične ugljične čelike. Tada bismo, naime, imali samo oko 0,25% C, a to bi bila premala zasićenost ugljikom. Nastao bi kubni martensit umjesto tetragonalnog, tvrdoće jedva oko 42 HRc. Treba, dakle, privući **cementit.** Praktički zato grijemo brzorezni čelik gotovo do solidus-crte pa dobivamo u austenitu 0,7 do 0,75% C, a tada gašenjem postignemo tetragonalni martensit tvrdoće otprilike 64 HRc. Ujedno tu ima već i rastvorenog i dovoljno usitnjenog cementita.

Međutim, gašenjem brzoreznog čelika do sobne temperature ne stižemo do M_f-granice (jer je ona ispod 0°C), već ostaje još oko 20% nerastvorenog cementita te još oko 30% austenita i samo oko 50% martensita. Zato taj čelik još nema ni tvrdoću običnog ugljičnog alatnog čelika, koji nakon kaljenja zadržava manju količinu ostatnog austenita.

Taj austenit ima još jedan nedostatak: loš je vodič topline pa se oštrica noža brže grije te smekšava i otupljuje alat. Treba ga, dakle, smanjiti na neškodljivu mjeru, a to se postiže visokim popuštanjem, tj. otprilike kod 560°C. Time se daje mogućnost suvišku legirnih primjesa da izađu iz austenitnih mješanaca. Na temperaturi 560 °C je moć difuzije već tolika da se u velikoj mjeri ostvaruje ravnoteža, tj. da se smanjuje koncentracija austenita na stranim elementima. Od austenita se odvajaju dijelovi sa stranim primjesama u obliku karbida, no to se još uvijek odvija nepotpuno i sporo. Tako nastalo osiromašenje austenita od legirnih primjesa ipak podiže M_f-granicu pa će nastupiti i daljnja pretvorba, u kojoj nastaje tzv. **sekundarni martensit.** Austenita je nakog toga ostalo još vrlo malo u strukturi, no time se postiže tvrdoća 65 do 66 HRc.

Tokom rada se brzorezni čelik grije proporcionalno s opterećenjem pri rezanju, pa je moguće rezati gotovo s trostrukim opterećenjem. Treba paziti da se ne ugrije do temperature koja bi prouzročila pretvorbu martensita i pad tvrdoće.

Strane primjese se brže uklanjaju ako se popuštanje ponavlja uzastopce, pa se danas umjesto jednog trosatnog popuštanja provode dva jednosatna popuštanja. Još bolje je četverokratno jednosatno popuštanje pri 560°C, čime se austenit praktički posve eliminira, a to daje najveću izdržljivost brzoreznom čeliku.

11.353.42 *Toplinska obrada manganskog austenitnog čelika*

Posebna je vrsta čelik sa 1—1,3% C i 11—14% Mn, vrlo otporan na trošenje i vrlo žilav.

Zakaljen kod 900 do 1 150°C i gašen u vodi ili u struji zraka, on potpuno zadržava austenitnu strukturu i na sobnoj temperaturi. Pod utjecajem pritiska (ili udaraca) mekani se austenitni kristali na površini usitnjuju i stvaraju mnoštvo granica, a to im povećava otpornost na trošenje i na udarce.

Ta pojava stvara teškoće za strojnu obradu jer je usitnjena struktura suviše otvrdnuta. Potrebno je stoga ponovno kaljenje da bi se struktura vratila u austenit, na mekoću i obradivost.

Žarenjem se postiže obrnuto: karbidi izlaze kod 400°C iz austenita, pa uzrokuju povišenje tvrdoće, ali i krhkosti. Gubitak ugljika može dovesti austenit do pretvorbe u martensit pa je rezultat takvog žarenja izrazito otvrdivanje i smanjenje rastežljivosti austenitnog manganskog čelika. Nastupa, dakle, paradoks: smekšavanje — kaljenjem, a otvrđivanje — žarenjem!

11.354 Kemijsko-toplinska obrada

Postupci koji prilikom toplinske obrade mijenjaju i kemijski sastav materijala u cjelini ili bar na njegovoj **površini** nazivaju se kemijsko-toplinskom (termokemijskom) obradom.

Ovdje treba najprije omogućiti provedbu samih kemijskih promjena, tj. strukturu treba dovesti u takvo stanje da bude moguća difuzija stranih atoma iz okoline i s njome skopčana potrebna kemijska reakcija. U praksi se to postiže oblaganjem čelika prikladnim sredstvima ili prikladnom atmosferom te grijanjem do one temperature kod koje to sredstvo počinje kemijski utjecati na površinske slojeve odnosnog materijala. Time se, naime, aktiviraju atomi (ioni) u okolini, tj. u oblozi, tako da budu sposobni za difundiranje u površinu predmeta, koji ih na prikladnoj temperaturi adsorbira (upije), najprije na površini, a zatim i dublje u unutrašnjosti (difuzija).

Na intenzitet difuzije u čelik utječu veličina atoma, temperatura te tip i stanje rešetke u kojoj se difuzija ostvaruje. Znamo već da je plošno-centrirana rešetka prikladnija za taj proces nego prostorno-centrirana. Nadalje, za difuziju su povoljne nepravilnosti rešetke, osobito na površini predmeta, na granicama kristala i mozaika te na mjestima rešetke gdje postoje praznine. Difuzija je također olakšana u područjima gdje vladaju napetosti vlaka, a otežana je ondje gdje vlada tlačna napetost. Od svega je, međutim, najvažnija veličina atoma. Sićušni atomi (npr. ugljik i dušik), koji tvore uključinske mješance sa željezom, mnogo lakše udifundiraju nego krupni atomi, koji tvore supstitucijske mješance. U tablici vidimo nekoliko primjera tih utjecaja na difuziju.

Utjecaji na difuziju Tablica 4.

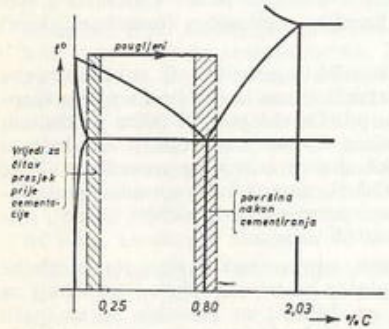
Element	Veličina atoma u Å	Temperatura °C	Faktor intenziteta difuzije
C	~1,7	925	1 205
		1 000	3 100
		1 100	8 640
N	1,42		
Al	2,8	900	33
		1 150	170
Si	2,34	960	65
		1 150	125
Cr	2,57	1 150	5,9
		1 200	15—70
		1 300	190—460

11.354.1 Cementiranje

Današnji postupak cementiranja znači pougljičenje površine mekog čelika, tj. onog s najviše 0,25% C, i to u dubinu 0,4 do 2 mm (tablica 5. daje primjer za cementaciju zupčanika).

Tablica 5.

Modul	≦2	2—3	3—4	4—5	>5
Dubina cementacije (mm)	0,4—0,5	0,5—0,6	0,6—0,8	0,8—1	1—1,2



Ⓐ Proces pougljičenja u Fe—C dijagramu

Nakon cementacije čelik se podvrgne kaljenju pa se dobije **tvrda površina** i **žilava unutrašnjost.** Pri tome se nešto povisuje i čvrstoća. Suština postupka vidi se na Ⓐ. Niskougljični čelik (< 0,25% C) ugrije se nešto iznad A_3-granice i time se dovede u austenitno stanje, koje ima veću rastvorljivost za ugljik. Oko čelika stavi se obloga sastavljena od takvih sredstava koja pri toj temperaturi razvijaju aktivne atome ugljika (organske tvari, otpaci kože itd.). Površina čelika ih usiše (adsorbira), a odavde oni dublje difundiraju, to dublje što proces duže traje. Obično to traje 1 do 8 sati.

Površina čelika, tako obogaćena ugljikom, vrlo lo je pogodna za kaljenje. (Čelik siromašan ugljikom nije prikladan za kaljenje.) Na taj način moguće je u strojarstvu riješiti vrlo velik broj slučajeva kad treba da predmeti istodobno odole i površinskom trošenju i udarnom opterećenju. To se ne može postići upotrebom visokougljičnih (ili drugih kaljivih) čelika jer se kod njih može postići tvrdoća površine samo na štetu rastežljivosti.

Sredstva za obloge u svrhu pougljičavanja mogu biti kruta, tekuća ili plinovita. Tekuća su najefikasnija, a plinovita su najracionalnija.

Nakon cementiranja može uslijediti **jednostruko** kaljenje na temperaturi oko 2 do 50°C iznad A_1-granice, a zatim »nisko« popuštanje.

Bolje je, međutim, provesti **dvostruko** kaljenje jer se time postiže maksimum koji se cementacijom uopće može postići. U tom slučaju kaljenje provodimo uz grijanje na temperaturu iznad A_3, pa se time izaziva promjena u nutrini čelika. Nakon »gašenja« izvrši se drugo kaljenje **kratkotrajnim** grijanjem do nešto iznad granice A_1, pa se postigne konačno otvrđenje površine. Kratkotrajno drugo grijanje djelovat će na već zakaljenu unutrašnjost kao »visoko« popuštanje pa će se ona u stvari poboljšati. Nakon toga može se još uspješno izvršiti nisko popuštanje površine.

11.354.2 Nitriranje

Pri nitriranju se površina čelika zasićuje dušikom iz amonijaka. Prethodno se čelik ugrije na 480 do 650°C. Time se dobivaju vrlo tanki, ali izvanredno tvrdi površinski slojevi, veoma otporni protiv trenja i korozije. Pri tome unutrašnjost ostaje žilava i rastežljiva. Na površini se javlja napetost tlaka, koja znatno povisuje čvrstoću i dugotrajnost predmeta.

Amonijak se prilikom te operacije na spomenutoj temperaturi raspada u vodik i dušik, pa aktivni oslobođeni atomi dušika difundiraju u α-rešetku ferita i u njemu razvijaju niz strukturnih promjena.

Proces je ovaj: kod 591°C rastvori se 0,42% N u α-fazu; pri daljnjem porastu sadržaja dušika nastaje γ^x-faza sa 5,5—5,9% N, a to je nitrid željeza Fe_4N. Ovaj prelazi u γ-mješanac s uključenjem dušika. Dobiva se oblik koji nije postojan. Postojaniji su kombinirani nitridi kod legiranih čelika. Najpovoljniji su Mn-, W-, Mo-, Cr-, V-, Ti-, Al-nitridi.

Prednosti nitriranja

To su:

- niska temperatura nitriranja (480—650°C)
- nije potrebno kaljenje
- neizmjenjivost dimenzija
- visoka tvrdoća (do 1 200 po Vickersu)
- postojanost te tvrdoće — sve do temperature 500°C
- u unutrašnjosti se mogu postići žilave strukture i druga mehanička svojstva
- visoka izdržljivost protiv promjenjivih opterećenja
- visoka otpornost protiv korozije, koja se, međutim, gubi pri najmanjem skidanju površinskog sloja (0,05 mm).

Nedostaci nitriranja

- skupoća postupka, uključiv teškoće pri izradi dobrih čelika za nitriranje
- skupoća zbog dugotrajnosti procesa (50—100 sati)
- loša obradljivost
- skupoća opreme za nitriranje.

Primjena

Strojni elementi za specijalno visoka opterećenja, alati za mjerenje košuljica cilindara, koljenčasta i grebenasta vratila u avionskim motorima itd.

Čelici za nitriranje

Nelegirani čelici postižu mali porast tvrdoće. Najveću tvrdoću dobivaju čelici sa 0,3—0,4% C, 1,35—1,65 Cr, 0,2—0,3% Mo, 0,7—1,2% Al. Važan je sadržaj Mo jer uklanja krhkoću koja može nastati pri dugotrajnom grijanju prilikom nitriranja. Aluminij povisuje tvrdoću (sa 900—950 po Vickersu na 1 200 po Vickersu). Vrlo se dobro nitriraju nerđajući i na vatru otporni čelici.

11.354.3 Cijaniranje

Cijaniranje je kombinacija cementiranja i nitriranja. Čelik se uronjava u rastaljene cijanove soli ili se podvrgava djelovanju plinske smjese, i to plina za cementaciju i nešto amonijaka. Postoji, dakle, žitko i plinovito cijaniranje. S obzirom na temperaturu ono se dalje dijeli na **usijano** (750—830°C) i na **neusijano** (550—650°C) cijaniranje. Pri **usijanom** čelik se nalazi u austenitnom stanju pa pretežno u nj difundira ugljik. Zatim može odmah uslijediti kaljenje u vodi ili u ulju i nakon toga popuštanje. Takav je čelik vrlo tvrd i otporan protiv trenja i korozije.

Pri **neusijanom** cijaniranju prevladavaju procesi nitriranja jer se čelik nalazi u α-stanju pa u nj difundira dušik. Tvrdoća i dobra rezna svojstva pojavljuju se odmah nakon cijaniranja, pa nije potrebno naknadno kaljenje. Ipak se čelik često zakali i popusti još prije cijaniranja da bi mu se poboljšala unutrašnja struktura.

Cijaniranje se katkad obavlja postupno: najprije se pri 500 do 600°C čelik zasićuje dušikom, a zatim pri 750 do 830°C ugljikom.

Cijaniranje je najprošireniji postupak za malu dubinu prodiranja.

11.354.4 Difuzijska metalizacija

Pri toj metalizaciji čelik se grije obložen nekim metalnim sredstvom pa se njegova površina zasićuje dotičnim metalom. To traje razmjerno dugo jer se radi o difundiranju krupnih metalnih atoma na temperaturi 900—1 100°C.

Najčešća je metalizacija s Al (alitiranje) i Cr (kromiranje), te Si (siliciranje). Kao rezultat dobivaju se povišenja površinske otpornosti protiv visokih temperatura i korozije te protiv trenja, kao i povišenja tvrdoće.

11.36 SPECIJALNI ČELICI

11.361 Magnetski čelici

S obzirom na ono što je rečeno u poglavljima 47.43 Općeg praktičara 1 i 11.232 u ovu skupinu mogu se ubrojiti ovi metali:

11.361.1 Čelici s visokim maksimalnim permeabilitetom

To su legure sa 3—3,5% Si, 0,05% C, što veće čistoće (da bi se postigle što bolje vrijednosti). Ovamo spadaju poznate marke Hypern 4T i 5T, Trafoperm N2, Hipersil i Transcor 3X. Kod njih se toplinskom obradom mogu kristali orijentirati tako da os kuba pada u smjer trake, tj. tako da sposobnost magnetiziranja bude najbolja. Time se postiže gotovo pravokutna petlja histereze pa je maksimalan permeabilitet visok (jezgre strujnih pretvarača, prijenosnici, pojačivači i transformatori snage).

11.361.2 Čelici s visokim početnim i maksimalnim permeabilitetom

Upotrebljavaju se za prijenosnike u dojavnoj tehnici, kao jezgre mjernih pretvarača, magnetska pojačala i sl. Najčešće se uzima debljina trake 0,35 mm. Kako raste frekvencija, kvadratno rastu i gubici vrtložnih struja i gubici histereze. Ti se gubici smanjuju stanjivanjem trake do debljine 0,05 mm ili povišenjem specifičnog otpora. Legiranjem sa 20% Cr i 5% Al dobiva se otpor od 1,4 Ω mm²/m i početni permeabilitet od 750. Trgovački nazivi tih čelika jesu: Permaloy, Mumetall, Supermaloy, Permenorin, Hypernik, Legura 1040.

Standardni čelici za tu svrhu navedeni su u tablici 11.52-6.

11.361.3 Čelici s visokim početnim permeabilitetom i malim usponom permeabiliteta

U istom standardu nalazimo čelike s **konstantnim** permeabilitetom kod slabih magnetskih polja. Uglavnom dolaze u obzir niklene legure s kojih 36 — 50% Ni i s dodatkom bakra. Trgovački nazivi glase Permenorm 3601 (Hyperm 36), Koperm, Textur-Isoperm. Djelomično se primjenjuju i materijali A_1, A_2, A_3, C_2 i C_3 iz standarda DIN 41301. Podvrsta D ima do 40% Ni i služi za štancane proizvode i prstenaste jezgre žarene kod 650 do 900°C (to više što je manji sadržaj Ni). Rekristalizacija nije potpuno izvršena pa se može pouzdano računati s vrijednostima iz spomenutog standarda. Na konstantnost permeabiliteta katkad se polažu visoki zahtjevi, npr. da ne smije ovisiti ni o kratkotrajnim magnetiziranjima, niti o zasićivanju od strane smetnji pri izradi raznih svitaka . . . Vrijedi pravilo da se početni permeabilitet ne smije mijenjati za više od 2%!

11.361.4 Materijali s pravokutnom histerezom

Posljednjih godina sve se češće zahtijeva pravokutna krivulja magnetiziranja.

Time se postižu jaka odstupanja struje i napona od sinusoide. To se može dijelom postići već sa čelicima iz stavka 11.361.1; zatim tzv. mumetalom iz stavka 11.361.2 (niska zasićenja!) i, napokon, Ni-slitina (50% Ni), kojoj se nametne željeni oblik histereze pomoću 95%-tne hladne deformacije. Brid kuba leži u tom slučaju (smjer najlakšeg magnetiziranja) ne samo u smjeru valjanja već i okomito na nj.

Praktički je to važno za gradnju kontaktnih pretvarača i magnetskih pojačala.

11.361.5 Meko željezo s malom koercitivnom silom

Za relejne članke važan je jednoznačan odnos između uzbuđenja i privlačne sile magneta, jer, na primjer, nakon isključenja struje kotva mora **odmah** otpasti — i obratno. To znači da ne smije biti remanencije (zaostalog magnetizma). Takvo »antimagnetsko« željezo postiže se vrlo sitnim zračnim zazorima jer je remanencija to manja što je manja i koercitivna sila (znatnim dijelom suzbijena zazorom). Od materijala dolaze u obzir nelegirane ili silicijem legirane meke vrste željeza prema tablici 6:

Tablica 6.

Vrsta	C %	Si %	Mn %	P %	S %
Tehnički čisto željezo* (švedska varijanta)	<0,05	<0,05	<0,10	<0,02	<0,02
Silicijev čelik	<0,10	3—4,5	<0,20	<0,02	<0,02

* Ovamo ubrajamo željezo ARMCO te varijante AME, Hyperm 0 (lit. 10)

Indukcija kod 20 Oersteda iznosi za te »čelike« oko 15 000 do 16 000 gausa.

11.361.6 Nemagnetizirani čelici

Čelici koji se ne mogu magnetizirati jesu slitine Ni (oko 14%) a mogu se nadopuniti još sa C, Cr, W itd., a zatim kombinacija 0,5% C, 5% Mn, 1 — 5% Cr, 12 — 15% Ni. Pri tome se Ni često zamjenjuje sa Mn.

U pojedinim slučajevima moguć je i niz drugih kombinacija. Pobliže o tome u literaturi (lit. 10).

11.362 Bolje kvalitete konstruktivnih čelika

11.362.1 Plemeniti čelici

To su čelici povišene čistoće u pogledu sumpora i fosfora pa se uslijed toga pribrajaju tzv. kvalitetnim čelicima, kod kojih je granica sumpora i fosfora 0,045%. Plemeniti su čelici, dakako, znatno čišći (sadržavaju maksimalno 0,035% S i do 0,035% P). Struktura im je vrlo homogena, tj. oslobođeni su raznih nemetalnih uključaka. Uz to se odlikuju po boljem stanju površine. Karakteristična je i umirena struktura pa su povoljni za primjenu na povišenim temperaturama (vidi tablicu 11.52-10 i 11).

11.362.2 Visokovrijedni konstruktivni čelici

U mnogim zemljama postoji tendencija da se pronađu čelici visoke čvrstoće koji će imati istaknuta svojstva i bez toplinskih obrada nakon zavarivanja. U SAD se već pojavljuje tzv. najbolji konstruktivni čelik svijeta pod oznakom Us St 1. Sastav mu je u postotku: C (0,1—0,2) — Si (0,15—0,35) — Mn (0,6—1,1) — Cr (0,4—0,8) — Ni (0,7—1,0) Mo (0,4—0,6) — Cu (0,15—0,5) — V (0,03—0,1) — B (0,002—0,006). Čvrstoća mu je oko 75 kp/mm², granica razvlačenja iznad 60 kp/mm², a udarna žilavost

kod	+20°C	10 kpm/cm²
„	−40°C	6,5 „
„	−60°C	4,0 „

Zavaruje se bez naknadne toplinske obrade jer ne nastupa ni kritična tačka kaljenja, niti porast krtosti. Evo pregleda standardnih čelika te vrste prema SAE (AMS)!

Pregled visokovrijednih konstruktivnih čelika Tablica 7.

Oznaka	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	σ_L kp/mm²	Dodatna oznaka
4340	0,40	0,2—0,35	0,75	0,80	1,83	0,25	—	190	6415
4340 mod	0,30	0,2—0,35	0,90	0,85	1,83	0,43	0,08	175	6427
HS-200	0,30	0,55	0,70	1,20	2,05	0,45	—	160	6407
Hy-Tuf	0,25	1,50	1,35	0,30	1,83	0,40	—	160	6418

Ti se čelici upotrebljavaju u SAD za gradnju zrakoplova.

11.362.3 Dekapirani limovi

Oblikovanje limova — napose pri hladnoj preradi — zahtijeva čistu površinu metala jer svaka nečistoća može izazvati štete (kvarovi uslijed grubih grešaka i neravnina, utiskivanje otpadnih slojeva, okujine itd.). Stoga se tanki limovi »dekapiraju«, tj. nagrizaju u odgovarajućim kupkama, pa se kao takvi i smatraju očišćenima i pogodnima za duboka izvlačenja. Nalazimo ih u JUS-standardima (C.B4.016 — 1962) te u njemačkim normama (prijašnje oznake kvalitete St V. 23 — St X.23 već su napuštene; npr. novi DIN 1623 iz 1961. god. Dekapiranje se osobito primjenjuje pri elektrolitskim nanosima da bi se poboljšala adhezija između osnovnog i taloženog metala.

11.362.4 »Izetirani« čelici

Poznato je da, na primjer, masovni (tj. obični) čelici čvrstoće do 50 kp/mm² naginju krtosti i starenju, i to zbog izlučivanja svojih primjesa na granicama kristalita u obliku opne, osobito ako ima vremenski dovoljno prilike za to (vrlo sporo hlađenje).

Ako, naprotiv, takav materijal žarimo 1 sat pri 950°C i naglo ohladimo u ulju ili u vodi, primjese se ne mogu tako udobno smjestiti po granicama kristalita, već ostaju zatečene u zrnu. Naknadno se čelik, dakako, popušta da bi mu se vratila žilavost, i to pri temperaturama iznad 350°C.

Tako je, na primjer, čeliku za elevatorske stremene sa 0,20% C — 0,45% Si — 0,63% Mn — 0,017% P i 0,028% S udarna žilavost od kojih 8,7 kpm/cm² »izetiranjem« povišena otprilike na 14,7 kpm/cm².

Izetiranje ima učinak samo kod čelika s minimalno 0,09% ugljika. Siromašnije sastave treba prethodno zasititi ugljikom (kao pri cementiranju), tj. žarenjem* . . .

»Izett«-iranje prema njemačkom (immer zäh) znači davanje trajne žilavosti

* . . . U ugljenom prahu ili u strugotini lijevanog željeza, natopljenoj uljem, i to pri temperaturi 950°C u toku 2—3 sata, nakon čega se gasi u vodi.

Temperatura popuštanja nakon »izet«-žarenja ne prelazi normalno 950°C; ipak pri većem sadržaju ugljika, npr. pri 0,3% C, treba popuštati pri višoj temperaturi.

Postupak se primjenjuje i za varove koji treba da budu otporni prema lužinama.

U valjaonicama se postiže »izet«-struktura naglim hlađenjem valjanih komada u vodi, i to s temperature valjanja.

11.362.5 Čelici za obične cijevi

To su čelici Č.0206 (JUS C.B5.122 — 1957)
Č.0406 (JUS C.B5.123 — 1957)
Č.0506 (JUS C.B5.124 — 1957)
Č.0003 (JUS C.B5.225/226 — 1957)
} odnosno DIN 1629

Materijal za cijevi ne smije biti osjetljiv na lom pri crvenom usijanju. To su Siemens-Martinovi čelici, topljeni dobrom dezoksidacijom. Odgovarajućim žarenjem poboljšava im se žilavost i osjetljivost na starenje i koroziju.

11.362.6 Nelegirani čelici za kotlovske cijevi

To su čelici zajamčene čistoće (u pogledu S i P), čvrstoće, granice razvlačenja i prekidnog izduženja, pri običnoj i pri povišenoj temperaturi, te trajne čvrstoće. Zahtijeva se i besprijekorna zavarljivost.

Standardne cijevi te vrste izabiremo prema JUS C.B5.022, odnosno DIN 1629.

Ispitivanja se provode s obzirom na vlak, porubljivanje i na unutarnji predtlak. Standardi cijevi navedeni su u 11.53 tab. 51—60.

11.362.7 Kotlovski limovi

Od kotlovskih limova zahtijeva se dobra čvrstoća (pri mirnim, izmjeničnim i udarnim opterećenjima), pri raznim temperaturama. Traži se, dakle, prije svega žilavost, zatim otpornost na starenje (radi mogućnosti oblikovanja i zavarivanja), te vremenska izdržljivost, tj. zadovoljavajuća žilavost i nakon dužeg rada. Stoga se obično podvrgavaju »umjetnom starenju«, tj. kratkotrajnom žarenju na temperaturi od 250 do 300°C.

Često se zahtijeva i postojanost prema interkristalnoj koroziji te — u svakom slučaju — besprijekorna zavarljivost.

Sve to zahtijeva povišenu čistoću čelika. Metalurški gledano, to znači podvrgavanje nekim posebnim postupcima. Standardne vrste **nelegiranih** čelika (prema JUS C.B4.014) vidimo u tablici 11.52—12, a legirane kvalitete u tablici 11.52—13.

11.363 Čelici za niske temperature

Za ponašanje čelika na niskim temperaturama odlučujući su ovi momenti: visina i dinamika opterećenja (mirno, pulzirajuće, udarno), djelovanje utora, te vlastita naprezanja konstrukcije. Nipošto nije ispravno ograničavati se samo na jedan od tih podataka.

Nelegirani se čelici (kvalitetni i neosjetljivi na starenje) mogu upotrijebiti do −30°C, izetirani otprilike do −40°C.

Za rashladne uređaje uzima se čelik otprilike s 1% Mn, i 0,3 − 0,4% Al (dezoksidant), pod nazivom Sicromal TT ili Deutro TT, koji je žilav do −80°C. (Općenita oznaka TT znači »Tiefe Temperatur« = niska temperatura.) Katkad se uzima 1,5% Mn i 1,5% Cr. Za konstrukcije na još nižim temperaturama (−80 do −185°C) uzima se oko 5% Ni s poboljšanjem u ulju (sitniji dijelovi). Evo nekoliko sastava čelika te vrsti: 20% Mn, 1% Cr, 1,2% Ni; nadalje 20% Mn 4,5% Cr; 17% Mn 3% Cr.

Još niže temperature zahtijevaju povišenje Cr na 10% ili Ni s austenitnom strukturom. Pregled standardnih čelika za niske temperature vidi u tablici 11.52−14.

11.364 Čelici za kemijsku industriju

Kod tih se čelika traže ove posebne karakteristike:

- zajamčena svojstva u pogledu utornih naprezanja pri savijanju
- posvemašnja zbijenost strukture, tj. bez ikakvih pora, plinskih mjehurića, šupljinica i sličnih nedostataka koje bi mogle smanjiti nepropusnost prema visokokomprimiranom vodiku.

Zasad se još ne može (metalurški) posve udovoljiti tom potonjem zahtjevu, ali treba svakako postići bar povoljan tok vlakanaca u čeliku (pri kovanju itd.). Što se tiče utorne čvrstoće, pribjegava se povisivanju sadržaja Mn i nešto Cr te Cr + Cu.

U inozemstvu se ti čelici pojavljuju s oznakom S_1 do S_3 (za kovane dijelove). Uslijed povećane čistoće imaju dobru udarnu žilavost (pri −20 do −25°C još se može očekivati preko 2 kpm/cm²). Pregled vidi u tablici 11.52−15.

11.365 Visokolegirani čelici

11.365.1 Na vatru otporni čelici

To su čelici koji se po pravilu upotrebljavaju na temperaturama iznad 600°C i pri tome udovoljavaju odgovarajućim zahtjevima u pogledu otpornosti na okolišnu atmosferu. Pod »atmosferom« se misli na plinove — rjeđe tekućine (npr. solne otopine ili metalne kupke) — kojima čelik mora pri tim temperaturama odolijevati. Može se primijetiti da čelici u stanovitim područjima viših temperatura naginju krtosti, što znači bitnu izmjenu njihovih svojstava.

Osnovni je zahtjev kod tih čelika još da ne smiju biti osjetljivi na temperaturne promjene. U pogledu čvrstoće važno je da ona suviše ne pada pri povišenim temperaturama i da postoji otpornost protiv puzanja, osobito kad se uzme u obzir djelovanje udarnih ili periodičkih izmjena opterećenja. Najzad, treba udovoljiti i tehnološkim uvjetima, tj. da ti čelici budu besprijekorno zavarljivi te prikladni za toplu i hladnu preradu.

Na vatru otporni čelici nastupaju kao feritni — s visokim sadržajem kroma (6 do 29%) i nikla — te austenitni s povećanom žilavošću i obradljivošću. Legirani su, dakle, prvenstveno na bazi Fe−Cr,* krom omogućuje stvaranje čvrstog oksidnog sloja, koji prianja nepropusno i time štiti čelik od daljnjeg oštećivanja i od pojavljivanja **otpadne** okujine. Stoga se takvi čelici još zovu »otpornima protiv stvaranja okujine«. (Smatra se da ih tako možemo nazvati ako nakon 120-satnog žarenja na zraku, sa četiri međuhlađenja, ne izgube u 1 satu više od 1 g/m² na težini.)

Tablica 11.52−29. prikazuje desetak čelika te vrste s osnovnim mehaničkim svojstvima na različitim temperaturama.

Zavarljivost. Austenitni čelici se dobro zavaruju i ne zahtijevaju naknadnu termičku obradu. Plamen mora biti neutralan da se zavarivanje ne naugljiči. Zavarivati treba, dakle, malim količinama plina, iako to usporava rad. Pri elektrolučnom zavarivanju mora luk biti što kraći (treba izbjegavati kisik i dušik iz zraka). Tupo zavarivanje je otežano zbog

* Ali i Si i Al, koji se također mogu brzo uvući (difuzijom) kroz površinu i vezati kisik.

Cr-oksida. Pogodan je postupak »Arcatom«, gdje vodikov plamen odbija pristup kisiku i dušiku; ipak ga treba primijeniti samo za tanje limove, gdje se može brže napredovati i time uklanjati pregrijavanje koje pogrubljuje zrna. Najsuvremeniji je način »Argonarc« za tanke limove, pri kojem se luk formira između komada i volframove elektrode, a zaštitu pruža plin argon. Uspješan je i kod feritnih čelika.

11.365.2 Čelici otporni protiv rđe i kiselina

Njihova kemijska otpornost prvenstveno se zasniva na svojstvu kroma da stvara stabilnu oksidnu kožicu (očima nevidljivu), otpornu protiv **oksidirajućih** kiselina (npr. HNO_3) ili plinova, ali ne i protiv **reducirajućih** medija (npr. HCl). Teoretski je dovoljno 12% Cr, dok se praktički uzima minimalno 12,5 do 13% Cr. Niži postoci obično nemaju svrhe.

Osim Cr važan je i ugljik uslijed velike sklonosti kroma da stvara karbide. Prilika mu se pruža već pri zavarivanju, tj. na temperaturi pogodnoj za napuštanje osnovne mase i spajanje s ugljikom u kromov karbid. Tako nastale izlučine osobito su nepovoljne na granicama zrna. Osnovna se masa, naime, time osiromašila i postala kemijski neotporna, pa može početi proces interkristalne korozije, tj. zrno se počinje raspadati te se konačno u određenim okolnostima može i rukom mrviti u prah. Treba, dakle, bezuvjetno osigurati da u osnovnoj masi ostane toliko kroma koliko je potrebno za garanciju kemijske otpornosti (teoretski 12%). No, kako treba ipak predvidjeti da će se jedan manji dio kroma spajati s ugljikom u karbid, njegov se postotak uvijek unaprijed povisuje.

11.365.21 *Stabilizirani čelici*

Postanak spomenutih karbidnih izlučina može se spriječiti tako da se stvaranje karbida osigura u samoj osnovi, bez premještanja na granice. Takvo stvaranje karbida koji će ostati na samome mjestu i time »stabilizirati« strukturu omogućuju npr. titan, tantal i niob. Oni drže ugljik čvrsto da se ne spaja s kromom. Tantal i niob nastupaju zajedno (teško se razdvajaju), no svojstvo »stabilizatora« uglavnom se pripisuje diobu. Bolji je od titana tek u tome što u području visokih temperatura naginje stvaranju kožice duž granice zrna, što kod nioba nije slučaj. Poznato je inače da se niobovi čelici odlikuju i boljom mogućnošću površinskog dotjerivanja (poliranjem).

11.365.22 »Supra«-*kvalitete i* »ekstra«-*kvalitete*

Stabilizirani čelici su, doduše, veoma prikladni za zavarivanje, no ipak ne zadovoljavaju potpuno. Pri višim temperaturama (npr. u zoni zavarivanja ili kod visokougrijanih aparata) još uvijek nastupa izlučivanje karbida. Stoga su pojedini proizvođači tih čelika počeli smanjivati **ugljik,** sve do koncentracije ispod 0,07% (LC = low carbon = niski ugljik). U takvim »suprakvalitetnim« čelicima zajamčen je potpun i ravnomjeran rastvor ugljika u osnovnoj masi i kao takav on je premalo zastupan da bi se mogao spajati s kromom u kromov karbid. Za takvu proizvodnju potreban je, dakako, ferokrom kao vrlo siromašan na ugljiku (vidi ferolegure, tablica 11.52−33).

Novija metalurgija je uspjela još više sniziti postotak ugljika (ELC = extra low carbon = osobito nizak sadržaj ugljika), i to ispod 0,03%! Razumije se da ovdje **nisu** potrebni stabilizatori. Ukratko govoreći, kemijska se otpornost protiv rđe i protiv kiselina povećava na više načina: povisivanjem kroma (nikla, molibdena itd.), dodavanjem stabilizatora (titana, odnosno tantal — nioba) ili smanjivanjem koncentracije ugljika.

Standardne vrste takvih čelika vidimo u tablici 11.52−30/32. Treba, dakako, naglasiti da osim kemijskog sastava veliku ulogu imaju još i slijedeće okolnosti:

- struktura mora biti što homogenija tako da sve čestice imaju praktički isti električni potencijal;
- stanje površine ima velik utjecaj. Glatka površina bolje odbija kemijske napade. Još je važnije uklanjanje svih oksida koji stvaraju razorne metalne soli. Poliranjem na visok sjaj, uklanjaju se takve nepovoljne naslage (razne okujine, ostaci troske, koroziona kožica itd.). Prakticira se i luženje pa i četkanje. Brušenje je štetno zbog pregrijavanja (loša toplinska vodljivost visoko legiranih čelika).

11.365.3 Brzorezni čelici, karbidne slitine

Obje vrste spadaju u područje alatnih čelika.

11.365.31 *Brzorezni čelici*

Načelno se dijele u tri skupine: kobaltni, volframski i siromašni volframom. Vidi tablicu 11.52–24.

Karakteristična je prisutnost vanadija, koji uglavnom veže ugljik kako bi ga uzmanjkalo za stvaranje drugih karbida. Visok postotak vanadija dopušta, dakle, visoku koncentraciju ugljika, što je važno za povisivanje tvrdoće (vidi EV 4 Co!) i izdržavanje oštrice.

Tablica pokazuje da je sastav tih čelika razmjerno skroman, ali su oni to osjetljiviji u pogledu toplinske obrade. Temperaturu treba održavati vrlo točno. Kako se brzorezni čelici zakaljuju na vrlo visokim temperaturama (većinom iznad 1 250°C), za gašenje se uzimaju solne kupke, ulje, komprimirani zrak ili vruća kupka (solna ili olovna) od 300 do 530°C, pa i petrolej. Slijedi popuštanje na 500–600°C. Pri tome znatan dio austenita redovito zaostaje i prilikom hlađenja, a nakon popuštanja pretvara se u martensit, pa mu pri tome raste tvrdoća otprilike za 60 HB, a da se ne gubi ni pri višekratnom popuštanju. To je posljedica uzajamnog djelovanja karbidotvornih dodataka V, Mo, W, Cr. Kobalt prvenstveno utječe na osnovnu masu.

Brzorezni čelici zadržavaju visoku tvrdoću sve do 700°C, dakle i čvrstoću, pa se upotrebljavaju i u konstrukcijama, osobito zbog visoke trajne čvrstoće (sve do 700°C). No sastav ih suviše poskupljuje. Osim toga su osjetljivi: brže zagrijavanje izaziva napone (loša toplinska vodljivost), odnosno jezgra katkad nije na vrijeme dovoljno ugrijana pa se zagrijavanje provodi u dva navrata.

11.365.32 *Steliti*

Od **karbidnih** slitina najvažniji su **steliti.** Sadržavaju znatno veće količine karbida nego brzorezni čelici. Zato imaju i veći učin i manje trošenje pri visokim temperaturama. Steliti su prirodno tvrde lijevane slitine, otporne protiv rđe. Napose su se istakle u Americi. Radi se o slitinama kobalta s metalima iz kromove skupine (Cr–W–Mo). Struktura je austenitna, s visokim udjelom karbida. Približan im je sastav u postocima: 2 – 4 C, 25 – 33 Cr, 10 – 25 W, 35 – 55 Co, 0 – 10 Fe. Kobalt se može djelomično zamijeniti niklom ili željezom (Fe).

Učinak mu znatno raste djelovanjem V (~5,5%), Ti (~1,7%), Ta (~1,2%) ili Nb (~2,8%). Time nastaju osim stelita još percit, akrit, litinit, celsit, stelamant i dr.

Steliti su dobro zavarljivi pa se primjenjuju za oklope i uopće za zavarivanja (npr. ventilska sjedišta, dijelovi transportera koji se troše, mlinovi itd.). Zavarivati ih treba u visokozagrijanom stanju, s vrlo opreznim ohlađivanjem.

Za zavarivanje se inače upotrebljava čitav niz slitina sličnih stelitima.

U posljednje vrijeme steliti gube značenje na području strojne obrade. Istiskuju ih tvrdi metali.

11.365.33 *Tvrdi metali*

Daljnje i ujedno najveće povišenje karbidnog udjela ostvareno je upravo u toj skupini čelika. Sastavljaju ih visokotopljivi metali, osobito W, Ta, Ti, Mo. Razlikujemo lijevane i sraštene («sinterne») podvrste. **Lijevane** su krtije, zato manje značajne (alati za izvlačenje žica, tuljci, sapnice za pjeskarenje itd.). Javljaju se u dvije varijante vrlo različitog sastava (u %):

I: 4 – 5C, (3 Co), 92 – 94 W, (2 Mo), (4 Ta), ostalo Fe
II: 2 C, 0 Co, 55 W, 20 Mo, 15 Ta, ostalo Fe

Prvu varijantu čine valonit, borij, asbit i toran, drugu miramant i dr.

11.365.34 *Sraštени* (= sinterni) tvrdi metali (bolje rečeno slitine tvrdih metala) uglavnom se primjenjuju na području alata za strojnu obradu, nalemljeni u obliku pločica na rezne alate. Kao takvi imaju mnogo veći učinak od većine brzoreznih čelika, ne samo u pogledu rezne brzine već i izdržljivosti i tačnosti rada. Prikladni su za rezanje velikog broja čelika, zatim sivog liva, tvrdog liva. Mn-čelika, umjetnih smola, tvrde gume, keramike, pa čak i stakla. U kemijskoj industriji primjenjuju se ventili za rastrećenje od tih metala.

Na tržištu se pojavljuju u raznim stupnjevima krtosti. Variranjem kobalta (koji djeluje kao žilavo vezivo za karbide) postiže se da ti metali, inače krti, budu primjenljivi i za udarna opterećenja. Tablica 11.52–25. daje pregled tih slitina (prema DIN 4990). S porastom temperature tvrdoća sraštenih legura samo neznatno pada. Ipak, za brušenje su neophodni specijalni postupci i posebne brusne ploče.

11.365.4 Hastelloy – slitine

To su slitine visokog ranga na bazi Ni – Mo, te Ni – Mo – Cr, isprva prakticirane samo u SAD, a danas već i u Njemačkoj. Željeza ima u njima malo. Nastale su razvijanjem visokolegiranih čelika, otpornih protiv rđe i kiselina (CrNi i Cr – Ni – Mo austenita). Kao takvi udovoljavaju krajnje visokim zahtjevima u pogledu korozije, tj. ondje gdje se inače moraju upotrijebiti plastične mase i keramičke tvari, dakako s ogromnim prednostima u pogledu čvrstoće, visoke temperature i još drugih specifičnosti. U prvom redu radi se o otpornosti protiv solne kiseline, klorida i sumporne kiseline.

Pregled standardnih slitina te vrste vidimo u tablici 11.52–16.

11.365.5 Čelici za reaktore

Materijali za reaktore moraju biti čvrsti pri visokim, dapače vrlo visokim temperaturama, zatim otporni prema onim sredstvima koja se upotrebljavaju za vođenje proizvedene topline (voda, para, solne otopine i dr.). Uslijed neprekidnog djelovanja atomskih zračenja mogu u njima nastupiti i takva svojstva koja su normalno uvjetovana premještanjem atoma u njihovoj rešetki, raznim lokalnim procesima u finoj strukturi itd. Za granicu razvlačenja, čvrstoću i tvrdoću takvih čelika može se reći da s vremenom rastu, dok plastičnost popušta. U pogledu funkcije i sigurnosti takvi materijali još uvijek zadovoljavaju.

Što se tiče dimenzija, gradnja reaktora također može imati neobične zahtjeve, npr. dužinu plašta 10 m, promjer 3 m, debljinu stijenke 200 mm, dakle oko 150 t težine; poklopac teži oko 85 t, vijci su dugi oko 1,8 m (⌀ 150 mm); predtlak iznosi oko 175 at, kod temperature od 315°C. U novije vrijeme uzimaju se platirani limovi s CrNi 18/8 i <0,03% C.

11.366 Materijali za elektrode

Na elektrode (tj. dodatni materijal za zavarivanje) polažu se brojni zahtjevi: vrsta struje, zavarljivost u raznim položajima, jednolika podjela troske, premoštavanje zazora, mehanička svojstva šava i neosjetljivost na pucanje. Zavar mora biti bez šupljina i bez nečistoća, bez pregorenih mjesta. Elektroda mora biti i lakoupaljiva, s mirnim i stabilnim električnim lukom, bez većih gubitaka na prskanje. Osigurati mora gladak izgled šava, pravilno oblikovan, odgovarajuće površine. U pogledu pohranjivanja elektroda ne smije biti osjetljiva na okolnu atmosferu i na transport ni neekonomična u primjeni.

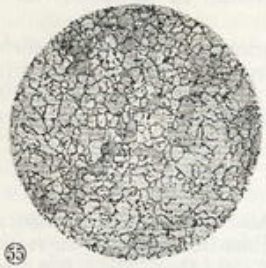
Pobliže o podjeli i primjeni elektroda vidi u poglavlju o zavarivanju.

11.37 METALOGRAFSKI PRIKAZ NEKIH VRSTA ČELIKA

Poliranjem metalne površine i naknadnim najedanjem dobiva se **izbrusak** na kojem je (pod specijalnim mikroskopom) vidljiva struktura metala. Poliranju prethodi brušenje

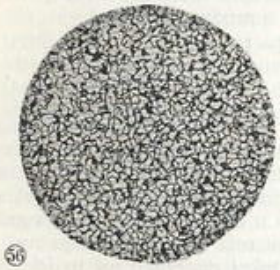
smirkovim papirom sve veće finoće (brojevi 3, 2, 1, 0, 00 ili 000, pa i finiji). U novije vrijeme izbrusak se priređuje elektropoliranjem.

Evo prikaza povećanih snimki izbruska za neke praktične čelike!



55

Konstruktivni čelik trgovačke kvalitete (Č.0000)
Stanje nakon valjanja (feritni kristali s vrlo malo perlita) (250×)



56

Konstruktivni čelik Č.0445 nakon valjanja
Sastav: ferit i perlit (250×)

57

Čelik za vijke, žaren. (7×)
Vide se silnice koje su nastale varenjem.

58

Čelik za poboljšanje (Č.1530) nakon valjanja
Sastav: ferit i perlit (250×)

Čelik za cementaciju, nelegiran, (6×) nakon 5 sati u cementacijskom prašku, lagano ohlađen.

59

Srednje tvrdi alatni čelik, sastava (%) 1,04 C 0,192 Si 0,406 Mn 0,009 S' 0,008 P.
Zakaljen kod 930°C, gašen u vodi — iznad linije rastvorljivosti Fe_3C (1000×)

60

Osobito tvrdi alatni čelik, sastava (%): (500×)
1,55 C 0,161 Si 0,28 Mn 0,008 S 0,012 P.
Žaren pri 1 250°C i gašen u ledenoj vodi (postizanje austenita)
Struktura: martensitne iglice na podlozi austenita.

61

Nikal-čelik, valjan (500×). Poliedarski austenit
Sastav (%): 0,627 C 0,38 Si 0,94 Mn
0,04 S 0,032 P **24,56 Ni**

62

63

Dinamo-lim (slabo legiran). Feritni kristali sa Si
Sastav (%): 0,07 C 0,92 Si 0,29 Mn 0,016 S 0,012 P (200×)

64

Krom-molibdenski čelik za cementaciju (ferit + perlit)
Sastav (%): 0,23 C 0,35 Si 0,71 Mn 0,028 S 0,021 P 1,09 Cr 0,28 Mo (250×)

65

Nerđajući čelik Č.4571 (X12CrNi18/8) (×250)
Poliedarski austenit, zakaljen pri 1 200°C, gašen u vodi.

11.4 NEŽELJEZNI METALI (OBOJENI METALI)

Neželjezni metali najčešće se pojavljuju u karakterističnim bojama, bilo kao čisti bilo kao slitine: bakar — crvenkastožut, mjed — svijetložuta, olovo — sivo, aluminij — bijel (pri sobnoj temperaturi), odnosno crven (rastaljen), pa se mnogi ubrajaju u »obojene metale«. Zbog skupoće primjenjuju se samo pri specijalnim zahtjevima, npr. kad se traži:

- osobita plastičnost
- električna vodljivost
- toplinska vodljivost
- antikorozivnost
- nemagnetičnost
- niska specifična težina
- antifrikcijska svojstva (zahtjevi malog trenja).

U strojarstvu se uglavnom primjenjuju:

- bakar i njegove slitine
- laki metali (aluminij, magnezij i titan, odnosno njihove slitine)
- antifrikcijske slitine (ležajne kovine itd.)
- lemovi (meki i tvrdi).

11.41 BAKAR

Element bakar (kao i sve slitine na temelju bakra) spada među **teške** metale. Kristalna mu je rešetka plošno centrirani kub i na tome se zasnivaju njegova glavna svojstva, od kojih se posebno ističu:

- električna vodljivost
- toplinska vodljivost
- plastičnost.

(Vidi tablicu 11.52 — 1.)

Također dolaze do izražaja:

- kemijska otpornost, koju omogućava »patina«, tj. bakreni oksidul (Cu_2O) zelene boje, koji ga prekriva i štiti od daljnje oksidacije
- sposobnost za slijevanje na temelju koje se dobivaju bakrene slitine
- nepostojanje magnetičnosti i alotropskih modifikacija (nema stojišta)
- lijepa sjajna boja (i u oksidiranom stanju).

11.411 Tečnički čisti bakar

Za bakar se smatra da je tehnički čist ako se primjese pojavljuju samo u tragovima. Za takav bakar nalazimo glavne praktične podatke u tablici 11.52 — 1.

11.412 Standardne čistoće tehničkog bakra

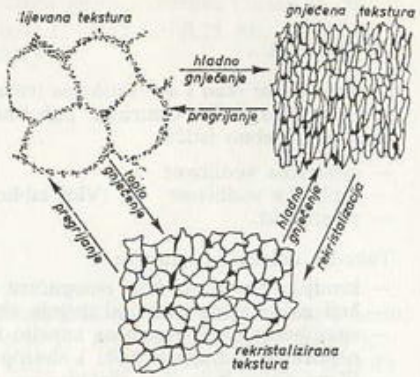
Čist bakar je veoma skup, dakle neekonomičan, pa se u praksi ne primjenjuje. Umjesto toga uzimaju se vrste nešto slabijih svojstava i čistoće, koje su standardizirane kao optimalne prema tablici 1.

Vrste bakra Tablica 1.

Kvaliteta	Oznaka	Minimalan sadržaj bakra	Primjena
Talionički bakar 1	CuAs	99,0	Za ložišta, sprežnjake i naglavke kotlovskih cijevi
Talionički bakar 2	Cu 99,25	99,25	Za bakrene poluproizvode trgovačke kvalitete i za slitine kod kojih nije propisana čistoća
Talionički bakar 3	Cu 99,50	99,50	Za limove, trake, cijevi, žicu, kao i slitine za valjanje, prešanje i kovanje, s više od 60% bakra
Talionički bakar 4	Cu 99,75	99,75	
Elektrotehnički bakar	E. Cu	99,99	Za elektrotehničke svrhe
Sadržaj srebra uračunava se kao bakar, a kod kvalitete Cu2, Cu3 i Cu4 i sadržaj nikla.			
Kod nekih stranih standarda postoji i kvaliteta: »talionički bakar S«, pod kojim se razumijeva bakar bez kisika za zavarivačke svrhe.			

11.413 Tekstura bakra

Smještaj, odnosno raspored kristala (»tekstura«) uglavnom odlučuje o plastičnosti i električnoj vodljivosti bakra. Ukratko možemo reći da postoje tri teksture bakra: lijevana, gnječena i rekristalizacijska, uz svojstvo pretvorivosti iz jedne u drugu ①.



① Ljevačka, gnječena i rekristalizirana tekstura bakra

— **Lijevanu** teksturu sastavljaju krupna neorijentirana **zrna** nastala neometanom kristalizacijom iz taljevine (odljevci ili zavareni spojevi), te eutektička faza **oko** tih (primarnih) zrna, koja se sastoji od kristalića bakra i krhkih kristalića bakrenog oksidula (Cu_2O), dakle: $Cu + Cu_2O$, što oslabljuje vezu. Lijevana struktura je stoga redovito niže čvrstoće ($\sigma_L = 0{,}20$ kp/mm², $\delta_o = 15\%$). U praksi se izbjegava.

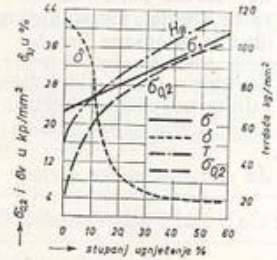
— **Gnječena** tekstura dobiva se gnječenjem u **hladnom** ili u malo prigrijanom stanju. Kako znamo, pri tome se kristaliti usitnjuju i ujedno usmjeruju. Eutektikum ($Cu + Cu_2O$), međutim, dobiva novi raspored: gnječenje ga razbija i razdvaja na izolirana mjesta tu i tamo između zrnaca bakra. Dakle, Cu_2O više ne obavija zrnca pa tekstura dobiva na čvrstoći. Rastežljivost je smanjena, osobito u smjeru poprečnom na smjer zrna, pa može u krajnjem slučaju čak pasti na nulu. ②

Gnječenu strukturu nalazimo većinom u bakrenoj žici, tankim limovima i cijevima.

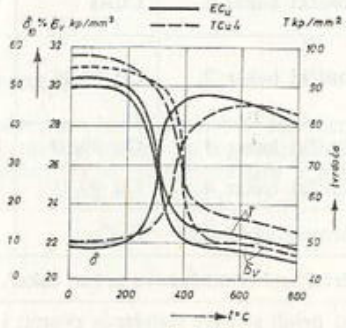
— **Rekristalizaciona** tekstura nastaje **toplim** gnječenjem **lijevane** strukture ili rekristalizacijom hladno gnječene teksture, uvijek pri temperaturama većim od temperature rekristalizacije. U oba slučaja dobivamo isti tip teksture, neorijentirane, umjerene usitnjenosti i raspršenog oksidula. Mehanička svojstva zavise od usitnjenosti, tj. od stupnja ugnječenosti (tablica 2), a mijenjaju se prema ③, gdje je:

ECu — elektrotehnički bakar

TCu_4 — talionički bakar.



② Mehanička svojstva u ovisnosti o stupnju ugnječenja



③ Promjene mehaničkih svojstava pri rekristilizaciji bakra

Mehanička svojstva bakra Tablica 2.

Oblik	Stanje	Vlačna čvrstoća kp/mm²	0,2-granica kp/mm²	δ_s %	Tvrdoća kp/mm²	Odrezna čvrstoća kp/mm²
Limovi i trake do 0,6 mm	meko odžaren	22,5–24	5–6	45	45–50	15,5–16
	1/8 tvrdo	25,5	18	30	70	17,5
	1/4 „	27	22	25	83	17,5
	1/2 „	30	27	14	95	18
	tvrdo	35	33	6	108	20
	vrlo tvrdo	39	37	4	113	20,5
	ekstra tvrdo	40	38	3,5	115	20,5
Šipke, ø 25 mm	mekane	22,5	5	55	45	15,5
	vučene (35%)	34	31	16	103	19
Žica do 2 mm	meko	24,5		35		17
	tvrdo	39		1,5		20,5
	vrlo tvrdo	46		1,5		23
Cijevi	meko odžaren	22,5–24	5–6	45	45–50	15,5–16
	vučene (15%)	28	21	25	83	18,5
	(40%)	38,5	36	8	110	20,5

Temperatura rekristalizacije zavisi o čistoći bakra, o stupnju ugnječenosti i o veličini izvornog zrna. Što je bakar čišći i ugnječenost veća, ona pada, a što je izvorno zrno veće, ona raste (manje usitnjenje, tj. manje je prikladnih mjesta za začetne klice). Ukratko: ta se temperatura kreće između 200 i 400°C.

Pregrijavanje je vrlo štetno zbog izazivanja difuzije (pokrupnjivanje) ili čak pojavljivanja eutektikuma (obavijanje zrna). Iznad 500°C uvlače se u bakar (difuzijom) plinovi CO i H_2 i spajaju u Cu_2O (vodik u vodenu paru H_2O, a CO u CO_2). Nastaju, dakle, troatomni plinovi, s malom difuzijom, pa ne mogu izaći iz bakra, već tamo ekspandiraju i kidaju veze između bakrenih čestica. Dobivamo raspucani bakar. Ta »vodikova bolest« nastupa često pri zavarivanju bakra pa se zato za zavarivanje traži posebno čista kvaliteta (tzv. zavarivački bakar).

Rekristalizacijska tekstura redovito nastupa u bakrenim motkama i debelim limovima te u žici, ali i u tankim limovima i cijevima ako su nabavljeni u odžarenom stanju.

11.42 BAKRENE SLITINE

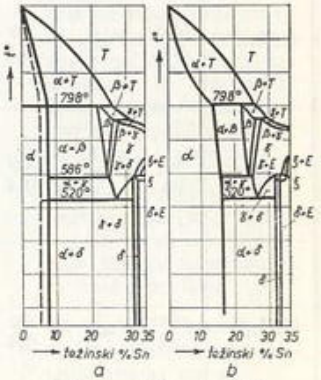
Zbog velike slivljivosti bakar je postao osnovicom velikog broja slitina koje ćemo redom razmotriti. Podijelit ćemo ih na one bez cinka i na one s cinkom.

11.421 Bakrene slitine bez cinka (bronce)

Naziv »bronca« potječe iz davnine, ali se danas odnosi — ako nije pobliže definirano — na **kositrenu** broncu. Inače, govoreći općenito, bronci ima više vrsta, no najprije ćemo razmotriti njihova zajednička svojstva.

Na ④ vidimo dijagram slijevanja, polustabilnih stanja, u kojima je eutektoid ($\alpha + \delta$) zadržan sve do sobne temperature.

Vidi se da kod tih bronci treba računati sa svojstvima koja potječu od prisutnosti tvrdih i krhkih δ-kristala u eutektoidu.

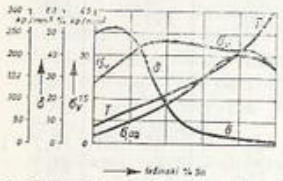


④ Dijagram slijevanja bakra (polustabilna stanja)

Slučaj a vrijedi za normalno hlađenje u praksi. Puna linija odnosi se na skrućivanje u pješčanim kalupima, a crtkana na skrućivanje u kokilama. Vidi se da homogenu α-fazu ne možemo očekivati kod bronci gdje je sadržaj Sn veći od 8% (za pješčani kalup), odnosno 5% (kod kokilnog liva).

Primijećeno je, međutim, da heterogeni sastav (za veći postotak Sn) ima uključke slojastih dendrita, koji se mogu ukloniti homogenizacijskim žarenjem. Na slici b vidimo rezultat tog žarenja pri temperaturi iznad 500°C: znatan dio područja eutektoida (α + δ) dovodi se rastvaranjem u α-fazu, čije se područje na taj način proširuje do koncentracije 15,8% Sn (kakav bi inače bio i pri stabilnom hlađenju).

Kako se vidi, granica između čiste α-faze i eutektoida (α + δ) može se pomicati uz uvjet da se tačno pridržavamo mjera koje putem toplinskih promjena dovode do željenih modifikacija. Kakvo praktično značenje ima podjela na α-fazu i na eutektoid (α + δ)? Granica između ta dva područja praktički je granica između **gnječivih** i **lijevanih** bronca.



⑤ Mehanička svojstva u ovisnosti o sadržaju kositra

Područje α-mješanaca predstavlja, naime, broncu izrazite rastežljivosti, od davnine upotrebljavanu za kovanje novca i medalja. (U negnječenom stanju je, dakako, ta faza mekana i slabe čvrstoće.)

U području (α + δ) faze, naprotiv, imamo veću čvrstoću, ali i nagao porast tvrdoće i krhkoće, što ograničava njezinu primjenu otprilike kod 20% Sn.

To se vidi, uostalom, i iz raznih dijagrama slijevanja koji pokazuju da tek uz homogenizacijsko žarenje dobivamo α-fazu jedva do 15,8%. U praksi se za granicu uzima ipak 20% Sn.

Na ⑤ vidimo orijentacijski prikaz svojstava bronce na tom području.

Upada u oči širok interval skrućivanja bronci, osobito u području između 10 i 20% Sn i razmjerno niska solidus-crta (800—850°C). U tom području su već ljevačke bronce, za lijevanje spomenika (oko 18%) i zvona (otprilike 20% Sn).

Broncama raste antikorozivnost sa sadržajem Sn, a pada sa sadržajem nečistoća i primjesa (osim Ni).

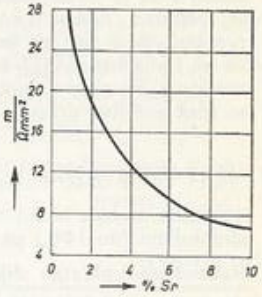
Gnječive bronce Tablica 3.

Oznaka	Sastav u %			Mehanička svojstva			Primjena
	Cu	Sn	P	Čvrstoća u kp/mm²	Rastežljivost δ_{10} u %	Tvrdoća u kp/mm²	
CuSn2	oko 98	1 do 2	do 0,1	27—48	48—3	60—120	Za vijke i opruge koji provode električnu struju; za cijevi toplinskih izmjenjivača
CuSn4	oko 96	3 do 5	do 0,4	33—60	54—5	75—150	Za vijke, manometarske cijevi, sita i dijelove za kemijsku industriju; za valjačku broncu i novac
CuSn6	oko 94	5 do 7	do 0,4	37—66	58—6	80—165	Za opruge i manometarske cijevi, membrane i elemente električnih instrumenata; za sita i elemente kemijske industrije

11.421.1 Standardne gnječive bronce (JUS C.D2.102)

Prema stupnju ugnječenosti razlikujemo mekanu, polutvrdu, tvrdu i vrlo tvrdu broncu: kako su mehanička svojstva bitno ovisna o tom stanju, njihove se vrijednosti mogu dati samo u širokim rasponima (tablica 3).

Interesantna je još električna vodljivost i linearan pad modula elastičnosti gnječivih bronca ⑥.



⑥ Električna vodljivost gnječivih bronci

11.421.2 Standardne ljevačke bronce (JUS C.D2.302)

Karakterističan je veći postotak Sn te povišena mehanička svojstva. Vrijednosti vidimo u tablici 4.

Ljevačka bronca Tablica 4.

Oznaka	Sastav u %		Mehanička svojstva				Primjena
			Minimalna			Prosječna tvrdoća u kp/mm²	
	Cu	Sn	0,2-granica u kp/mm²	Vlačna čvrstoća u kp/mm²	Rastežljivost δ_2 %		
P.CuSn10	90	10	12	22	15	65	Kola i oklopi crpki i turbina; armatura otporna prema kiselinama; brzohodni puževi, dinamički opterećeni zupčanici te sjedišta ventila
P.CuSn12	88	12	13	24	8	85	Brzohodna pužna kola, teško opterećeno kulisno kamenje i vretena
C.CuSn12	88	12	15	28	8	100	Brhozodna pužna i vijčana kola uz udarno opterećenje; ležišta koljenastih osovina i ručica za teška opterećenja (p do 1 200 kp/cm²), teško opterećena vretena i spojišta, frikcijski prsteni i ploče
P.CuSn14	86	14	14	20	3	100	Udarno opterećena klizna ležišta i ploče (uz p do 600 kp/mm²); vijenci pužnih kola i dijelovi za armaturu za visoke pritiske
P.CuSn20	80	20	14	15	1	185	Za klizišta i razvodnička zrcala pri bezudarnim opterećenjima; zvona

»P« označuje pješčani liv, a »C« centrifugalni liv

Uglavnom su to fosforne bronce. Treba napomenuti da se fosfor dodaje i drugim broncama, a da se to ne spominje. On, naime, služi kao dezoksidant prilikom taljenja. Ako se, međutim, dodaje u većoj količini, ostat će ga i u bronci nakon dezoksidacije pa ćemo preostali višak fosfora smatrati normalnim legirnim dodatkom. Redovito se ide za tim da ga bude bar 0,15% kao primjese u bronci. To je dovoljno da se stvori Cu_3P, koji povećava čvrstoću i osobito tvrdoću (kemijski spoj), ali smanjuje rastežljivost. Treba se ipak pažljivo držati određenih doza.

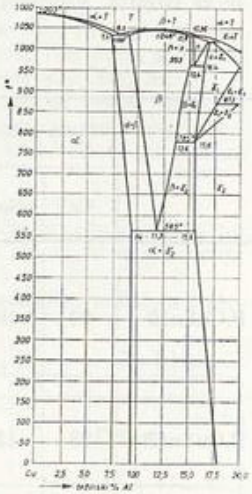
11.421.3 Aluminijska bronca (općenito)

Ta slitina trebala bi što više prodrijeti u praksu jer je tu (deficitaran) kositar zamijenjen aluminijem (do 14%) pa su dobivene razmjerno jeftine slitine.

Razmotrimo ukratko dijagram slijevanja sistema Cu–Al ⑦!

Njegove su karakteristike:

- izvanredno uzak interval skrućivanja
- homogeno α-područje kod sobne temperature siže samo do 7,5% Al
- heterogeno područje eutektoida ($\alpha + \gamma$) pri sobnoj temperaturi seže od 9,5 do oko 16% Al (u slučaju potpune ravnoteže); za metastabilnu ravnotežu donja granica iznosi 7,5%, a naglo hlađenje onemogućava uopće raspad eutektoida pa su do sobne temperature privučeni čak i β-kristali (slično martensitnoj promjeni kod čelika)
- pri sadržaju iznad 16% Al (pri sobnoj temperaturi) opet se pojavljuje homogeno područje γ-kristala, vrlo čvrstih, ali tvrdih i krhkih, neupotrebljivih, praktički je taj dijagram, dakle, interesantan do 12%, a izuzetno do 14%.

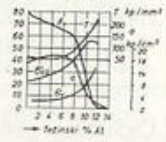


⑦ Dijagram slijevanja sistema Cu-Al

Ipak, heterogene Al-bronce pokazuju znatnu toplinsku obradivost (slično čeliku). Grijanjem se dolazi najprije do homogenog β-područja (kod eutektoida 11,8 Al bar nešto iznad 565°C), pa se naglo hladi do sobne temperature i time onemogućuje raspad β-kristala, koji jedva ima prilike da sredi rešetku svog heksagona.

Iz toga vidimo podjelu aluminijskih bronca:

- na binarne homogene, dobro gnječive u hladnom stanju, ali toplinski neobradive i
- na binarne heterogene slitine, gnječive u toplu stanju, koje se mogu toplinski očvrstiti (mehanička svojstva binarnih Al-bronca (odžarenih) vidimo kao orijentaciju na ⑧.
- na višekomponentne Al-bronce s dodacima Fe, Ni, pa i Mn i Si.

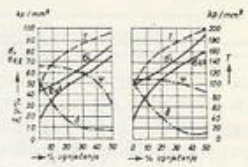


⑧ Mehanička svojstva binarnih Al-bronca u odžarenom stanju

Većinom su iz područja heterogenosti s još intenzivnijom toplinskom obradivošću. Razumije se da legirni dodaci poboljšavaju mehanička svojstva Al-bronca i bez toplinske obrade. Grijanje do β-faze i naglo hlađenje (izlučno kaljenje) te naknadno popuštanje i ovdje znači **poboljšavanje.** Opće karakteristike Al-bronca: otpornost koroziji, kiselinama, morskoj vodi i eroziji (izjedanju).

11.421.31 *Gnječive* Al-*bronce (standardne)* — JUS C.D2.104 — 1959

Kod binarnih (dvokomponentnih) Al-bronca nastoji se osigurati mogućnost hladnog gnječenja pa se ne ide izvan područja homogenosti. Legirane se, naprotiv, uzimaju iz heterogenog područja da bi se postigla efikasnija toplinska obradljivost. Mehanička svojstva mogu se dati samo u širokim granicama jer ovise o stanju ugnječenosti. To se vidi na ⑨.



⑨ Mehanička svojstva gnječivih bronca CuAl5 (lijevo) i CuAl7 (desno)

Sastav i svojstva gnječivih Al-bronca prikazuje tablica 5.

Gnječive Al-bronce Tablica 5

Oznaka	Sastav u %					Mehanička svojstva (za orijentaciju)				E	a	γ	λ
	Cu	Al	Fe	Mn	Ni	Vlačna čvrstoća u kp/mm²	0,2 granica u kp/mm²	Rastežljivost δ_5 u %	Tvrdoća u kp/mm²	Modul elastičnosti u kp/mm²	Žilavost kpm/cm²	Specifična težina kp/dm³	Vodljivost topline pri 20°C W/mK
CuAl5	92,5 do 96	4,0 do 6,0	do 0,4	do 0,3	do 0,8	30 do 85	10 do 75	55 do 7	70 do 190	11,3 do $13,5 \cdot 10^3$	3 do 16	7,5 do 8,2	0,1 do 0,25
CuAl7	90 do 94	6 do 8	do 0,5	do 0,8	do 0,8	30 do 100	12 do 78	50 do 3	70 do 200	11,3 do $13,5 \cdot 10^3$	3 do 16	7,5 do 8,2	0,1 do 0,25
CuAl10 Fe3Mn	80 do 86,5	9 do 11,5	2,0 do 4,0	1,0 do 2,0 (3,5)	do 1,0	60 do 90	25 do 80	10 do 3	130 do 170	13,3 do $13,5 \cdot 10^3$	3 do 16	7,5 do 8,2	0,1 do 0,25
CuAl10 Ni4Fe	78,0 do 83,0	9,5 do 11	3,5 do 5,5	do 1,5	3,5 do 5,5	65 do 80	28 do 70	20 do 12	170 do 220	13,3 do $13,5 \cdot 10^3$	3 do 16	7,5 do 8,2	0,1 do 0,25

Za elektrotehničke svrhe mora suma Cu + Al iznositi najmanje 99,8%, a sadržaj Al najviše 5,25%.

Primjena CuAl5: šipke, cijevi, žice, limovi i trake za kemijsku i rudarsku industriju, solane, kondenzatore, kočione trake i za elektrotehniku.

Primjena CuAl7: vrijedi isto kao i za CuAl5, osim za elektrotehniku. Posebna otpornost prema sumpornoj i octenoj kiselini te morskoj vodi.

Primjena CuAl10Fe3Mn i CuAl10Ni4Fe: za vruće gnječene poluge i dijelove; za profile i cijevi. Ventilska sjedišta. Motke i vratila. Kormilni kliznici, zupčanici, puževi i pužni točkovi, vretena i slično. Opća otpornost morskoj vodi, koroziji i trenju te neosjetljivost za eroziju i kavitaciju. Za poboljšavanje.

11.421.32 *Ljevačke* Al-*bronce (standardne)* — JUS C.D2.303 — 1957

I ovdje je binarna varijanta uzeta iz homogenog područja, i to čak neposredno uz gornju granicu tog područja (9,4% Al), dok su ostale (višekomponentne) heterogene. Vidi tablicu 6.

Ljevačke Al-bronce

Tablica 6.

Oznaka	Sastav u %					Mehanička svojstva				Primjena
						Minimalna				
	Cu	Al	Fe	Ni	Mn	Vlačna čvrstoća u kp/mm²	0,2 granica u kp/mm²	Rastežljivost δ_5 u %	Prosječna tvrdoća u kp/mm²	
P.CuAl9	oko 90	9	do 1,0	do 0,5	do 0,5	35	12	13	95	Armatura za kemijsku i prehrambenu industriju
P.CuAl10 Fe	oko 84	10	3	do 1,0	do 2,0	45	15	20	110	Kao gore uz naglašenu otpornost kiselinama
P.CuAl10 Ni5FeČ50	oko 80	10	3	4,5	do 3,0	50	20	15	135	Armatura za kemijsku i prehrambenu industriju, rudarstvo i pomorstvo
P.CuAl10 Ni5FeČ60						60	28	10	165	Posebno: brodski propeleri, zupčanici; puževi i pužna kola. Armatura za pregrijanu paru.

Mehanička su svojstva, dakle, izvanredno povoljna, znatno iznad klasičnih bakrenih slitina. Osobito je dobra jedna inozemna kvaliteta sa Fe ≧ 4%. Čvrstoća joj je 70—80 kp/mm².

Obradljivost Al-bronci uvelike odlučuje o njihovoj afirmaciji pa ćemo se na to ukratko osvrnuti.

- Ljevačka svojstva samo su osrednja: visoko talište (1 040 do 1 135°C) i uzak interval skrućivanja; veliko stezanje, naklonost stvaranju oksidnih opna.
- Gnječivost je povoljna ako se držimo uputa iz dijagrama; tj. za homogene bronce hladno, za heterogene vruće gnječenje (850—900°C) Moguće su i kombinacije: najprije lijevanje, zatim finalno kovanje.
- Zavarivanje otežano zbog Al-oksida. I za lemljenje su potrebna posebna zaštitna taljiva.
- Režljivost ovisi o stanju ugnječenosti, odnosno o termičkoj obradi. Inače slabija nego kod klasične Cu-slitine, osobito homogene.

Ostale bronce

Tablica 7.

Vrsta	Osnovni sastav	Glavne karakteristike
Silicijska bronca CuSi2Mn vidi JUS C.D2.106—1959	2,8 do 3,5% Si 1 do 1,5% Mn ostalo Cu	Mehanička svojstva slična su kao kod čelika, ali otporna prema nagriznim djelovanjima, nemagnetična te razmjerno dobro livljiva i svarljiva. Za jako napregnute dijelove u agresivnoj okolini. Za opruge, metalne tkanine i sita, isparivače i filtre te ispušne i dimne plinove.
Silicijsko--nikalna bronca	0,6 do 1,1% Si 0,1 do 0,4% Mn 2,4 do 3,4% Ni ostalo Cu	Velika čvrstoća, prilična antifrikcijska svojstva, antikorozivnost. Za dijelove avionskih motora.
Manganska bronca	4,5 do 5,5% Mn ostalo Cu	Povišena otpornost toplini, velika gnječivost, antikorozivnost
Berilijeva bronca	1,9 do 2,6% Be 0,2 do 0,5% Ni ostalo Cu	Veoma visoka mehanička svojstva, a ujedno razmjerno dobra vodljivost elektriciteta i topline. Za dijelove avionskih motora i aparata.
Kadmijeva bronca	0,9 do 1,2% Cd ostalo Cu	Visoka električna vodljivost (oko 20% manja od električne vodljivosti bakra)

11.422 Bakrene slitine s cinkom

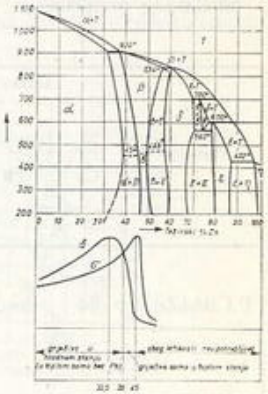
11.422.1 Mjed (mesing)

Slitina bakra u kojoj ima do 44% cinka (Zn) zove se općenito mjed, koja nastupa u dvije varijante:

- **tombak,** s količinama ispod 20% Zn
- **mjed,** s količinama iznad 20% Zn.

Potanje ćemo ih klasificirati kasnije. Prije toga se osvrnimo na dijagram slijevanja Cu—Zn ⑩.

Porastom Zn naglo padaju linije skrućivanja. Najznačajnije je područje α-mješanaca, koje najčešće seže do koncentracije 32,5% Zn, dok je pri višoj temperaturi (npr. pri 454°C) čak 39%. To je plošno centrirana kubna rešetka bakra, koja ujedno daje izrazitu rastežljivost. Idući udesno, nailazimo na β-kristale, najprije smiješane sa α, zatim i same β, koji obaraju rastežljivost u hladnom stanju. Kod 60,3% Zn nastaje kemijski spoj Cu_5Zn8 kao γ-kristal, tvrd i krhak, dakle neupotrebljiv. Praktična je granica oko 44% Zn. To su čisti α kristali te smiješani (α + β).



⑩ Dijagram slijevanja sistema Cu—Zn

Glavna svojstva mjedi

I ovdje imamo dva osnovna područja.

- **Homogene mjedi** (α-područje s najmanje 62,5% Cu), dobro gnječive u hladnom stanju, dakle prikladne za duboka izvlačenja. Ako je postotak olova dovoljno malen, postoji i gnječivost na toplo, no to nije ekonomično jer je olovo samostalna faza koja obavija **α-mješance** i tali se kod 300°C, pa se time gubi na kompaktnosti potrebnoj

za gnječenje. Hladno gnječenje povećava im čvrstoću i tvrdoću, a obara rastežljivost, no žarenjem se mogu reklistalizirati. Kod 160°C do 300°C dolazi do oporavka, tj. ukidanja napetosti, a kod 520 do 700°C do potpunog smekšanja mjedi.

— **Heterogene mjedi** ($\alpha + \beta$) područje sa 56 — 62,5% Cu, slabo su gnječive na hladno zbog β-kristala. Vrlo dobra je gnječivost u toplu stanju, tj. za toplo valjanje, slobodno kovanje i kovanje u ukovnju. Pri dotičnim temperaturama heterogena ($\alpha + \beta$) struktura prelazi u homogenu β fazu. Temperature gnječenja ujedno omogućuju i rekristalizaciju, što doprinosi homogenizaciji strukture. Ovamo spadaju i **automatne** (ili »tvrde«) mjedi sa 2% Pb (olova) koji povećava režljivost (kratka strugotina). U ovom slučaju nalazi se u nutrini kristala pa ne smeta ni u pogledu čvrstoće niti pri toplu gnječenju jer ne prekida suvislost između kristala, već samo skraćuje strugotinu koja se lomi u sitne čestice.

Donji dio dijagrama na ⑩ orijentacijski prikazuje postojanje izrazitih maksimuma i pri čvrstoći i pri rastežljivosti. Vrhovi se ne poklapaju jer maksimum rastežljivosti pripada homogenom području nedaleko od granice (tj. 30 — 32,5% Zn). Čvrstoća, naprotiv, postiže svoj maksimum u heterogenom području (40 do 44% Zn). Veće koncentracije cinka nisu zanimljive za praksu.

Antikorozivnost mjedi nije izrazita. Prema koroziji uglavnom su otporne, a isto tako i prema suhoj pari i organskim spojevima (npr. freon-12 za hladnjake). U normalnoj atmosferi korozija mjedi sporo napreduje. Morska voda nagriza je, a pogotovo kiseline i lužine. U dodiru s Fe, Al i Zn mjed je »katoda«, dakle izaziva galvanske struje, s korozivnim djelovanjem. Najčešće ima korozija dapače to porijeklo: postepenim nestajanjem Zn aktivira se izlučivanje Cu, koji pri tome stvara bakrenu opnu, tj. novi »galvanski članak«. Stoga su otpornije na koroziju mjedi s manje Zn nego, na primjer, heterogene, gdje β-faza nastupa kao anoda, dok je α katoda. Porast temperature pospješuje koroziju, a isto tako i napetosti i naprezanja. Žarenja (npr. oporavak kod 250 — 270 °C) sve to ublažuju.

11.422.11 *Ljevačke mjedi (standardne)* — JUS C.D2.300 — 1957

I ovdje će vrijednosti za mehanička svojstva biti samo orijentacionog karaktera. Evo tabelarnog pregleda.

Ljevačke mjedi Tablica 8

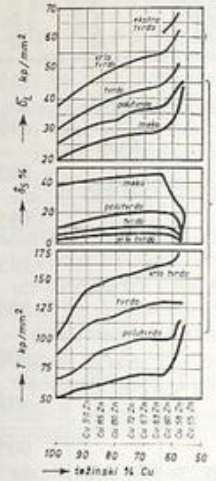
Oznaka	Sastav u %			Mehanička svojstva				Primjena
				Minimalna			Prosječna tvrdoća kp/mm²	
	Cu	Pb	Zn	$\sigma_{0,2}$ kp/mm²	σ_L kp/mm²	δ_5 %		
P.Cu64Zn	64	do 3	ostatak	6	15	10	55	Za pješčane kalupe; za armaturu, okove i za elektroindustriju
K.Cu62Zn	62	do 3	ostatak	8	25	25	85	Za kokilni liv; za armaturu i za elektroindustriju
T.Cu60Zn	60	do 2	ostatak	8	25	8	85	Za tlačni liv; za armaturu, okove i za elektroindustriju

11.422.12 *Gnječive mjedi* (općenito)

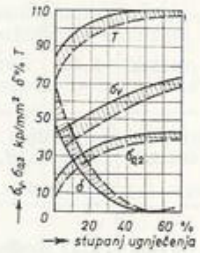
Kod tih mjedi odlučnu ulogu ima stupanj ugnječenosti te veličina zrna. Zato pogledajmo najprije, bar za orijentaciju, glavna mehanička svojstva pri različitim stupnjevima ugnječenosti. Za čvrstoću i rastežljivost (te 0,2 granicu) to će biti donje granice, a za tvrdoću prosječne vrijednosti.

⑪ se odnosi na razne vrste mjedi.

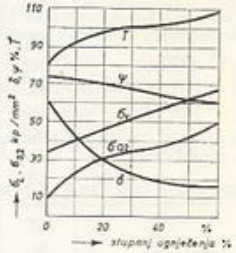
Na ⑫ i ⑬ prikazana su svojstva za dvije tipične vrste gnječive mjedi Cu67Zn i Cu63Zn prije žarenja, a na ⑭ i ⑮ iste mjedi poslije jednosatnog žarenja.



⑪ Mehanička svojstva reznih gnječivih mjedi

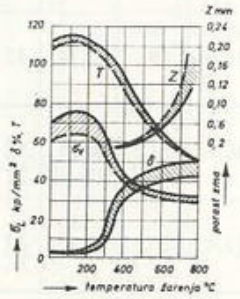


⑫ Mehanička svojstva mjedi Cu67Zn

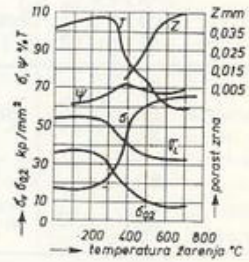


⑬ Mehanička svojstva mjedi Cu63Zn

Vidi se, dakle, i utjecaj veličine zrna na mehanička svojstva pa se zato često izričito zahtijeva sitnozrnasta mjed. To se postiže žarenjem. Svi ti rezultati ne vrijede, dakako, općenito, već samo za određeni slučaj, npr. za limove debljine 1 mm i određenu ishodnu veličinu zrna »Z«.



⑭ Utjecaj 1-satnog žarenja na svojstva mjedi Cu67Zn



⑮ Utjecaj 1-satnog žarenja na svojstva mjedi Cu63Zn

Standardni izbor gnječivih mjedi

Nakon prikaza tih utjecaja dajemo pregled gnječivih mjedi prema standardu JUS C.D2.100 — 1956, tablica 9.

Gnječive mjedi Tablica 9.

Oznaka	Sastav u %			Specifična težina p/cm³	Koeficijent dilatacije 25—100°	Električna vodljivost pri 20° m/Ωmm²	Toplinska vodljivost pri 20° cal/cm° s	Modul elasticiteta pri 20° kp/mm²	Tališni interval °C
	Cu	Pb	Zn						
Cu56ZnPb	54 do 57	do 2,5	ostatak	8,43	19,4	15	0,27	8 600	885 do 890
Cu58ZnPb	5,7 do 59,5	1,0 do 3,0	ostatak	8,44	19,3	15	0,27	9 500	890 do 895
Cu60Zn	59,5 do 62	do 0,3	ostatak	8,40	19,2	15	0,27	10 400	895 do 900
Cu62ZnPb	60 do 63	2,5 do 3,7	ostatak	8,46	19,0	15	0,27	11 000	900 do 905
Cu63Zn	62 do 65	do 0,2	ostatak	8,47	19,0	15	0,27	11 200	902 do 910
Cu67Zn	66 do 69	0,1	ostatak	8,50	18,8	15,5	0,28	11 400	902 do 930
Cu72Zn	69,5 do 73	0,07	ostatak	8,56	18,5	16,5	0,30	11 700	935 do 960
Cu80Zn	78 do 82	do 0,05	ostatak	8,67	18,0	19	0,34	12 100	980 do 1 000
Cu85Zn	82 do 87	do 0,05	ostatak	8,73	17,7	21,5	0,37	12 400	1 005 d0 1 025
Cu90Zn	88 do 92	do 0,05	ostatak	8,80	17,4	25,5	0,42	12 600	1 030 do 1 045

11.422.13 *Specijalne mjedi*

Ako se osnovici Cu—Zn dodaju manje količine Ni, Mn, Fe, Sn, Al, Si i Pb, dobivaju se specijalne mjedi, u kojima spomenuti elementi imaju ovu ulogu:

Silicij djeluje najsnažnije. Do 4% Si rastvara se u α-fazi. Smanjuje gnječivost, a poboljšava klizna svojstva mjedi. Sadržaj do 1% smanjuje koroziju koja potječe od napetosti.

Aluminij poboljšava mehanička i kemijska svojstva. Ako sadržaj Al nije tolik da dođe do pojave γ-kristala, on neće utjecati na rastežljivost. U protivnu slučaju je intenzivno obara. Prilikom lemljenja primjesa Al zahtijeva specijalno taljive lemove ili npr. srebrni lem. I zavarivanje je otežano prisutnošću Al.

Kositar je u α-fazi rastvorljiv do količine 1,5%, a u β-fazi do 0,4%. Veća količina stvara nove kristale, koji poboljšavaju klizna svojstva i otpornost koroziji.

Željezo je do 1% rastvorljivo u α-fazi, već prema temperaturi. Usitnjuje zrno i time poboljšava mehanička svojstva. U β-fazi jače je rastvorljivo pa se katkad dodaje i do 3%. Nedostatak: već 0,5% Fe čini mjed korozivnom.

Mangan povećava otpornost korozije (napose u morskoj vodi). Vrlo je rastvorljiv, ali i sam stvara posebne spojeve, koji znatno poboljšavaju klizna svojstva. U količini iznad 5% smanjuje gnječivost mjedi.

U pogledu mehaničkih svojstava i toplinske obradljivosti ima inače sličan utjecaj kao željezo.

Olovo je u mjedi rastvorljivo samo do sadržaja 0,1%. Veći sadržaj (do 3%) vrlo malo utječe na gnječivost, znatno poboljšava režljivost, pa i klizna svojstva. Istodobno obara svarljivost, ali i čvrstoću.

Nikal se dodaje do 3%. Vrlo je rastvorljiv u mjedi. Poboljšava i mehanička svojstva i gnječivost te otpornost koroziji.

Fosfor, arsen, antimon u malim količinama poboljšavaju otpornost koroziji; na ostala svojstva gotovo ne utječu.

Kadmij, magnezij, sumpor, selen, telur i bizmut nisu poželjni u mjedi jer smanjuju gnječivost.

Standardni izbor specijalnih mjedi

I ovdje postoji podjela na ljevačke i gnječive vrste. Tablica 10. iz JUS C.D2.301 — 1957 prikazuje tri **ljevačke** specijalne mjedi s primjesama na bazi mangana (obvezatno) i još uz dodatke Ni, Fe, Al.

Specijalne ljevačke mjedi Tablica 10.

Oznaka	Sastav u %						Mehanička svojstva				Primjena
							Minimalne				
	Cu	Mn	Ni	Fe	Al	Zn	σ_L u kp/mm²	$\sigma_{0,2}$ kp/mm²	δ_5 u %	Prosječna tvrdoća u kp/mm²	
P.Cu60ZnMn1.Č30	oko 60	1—2	do 3	do 1	—	ostatak	30	10	15	80	Visokotlačna armatura i kućišta; dobro se lemi i lijeva
P.Cu58ZnMn2.Č45	oko 58	1—3	do 3	do 2	do 2	ostatak	45	15	20	125	Brodski vijci, matice i tuljci
P.Cu57ZnMn2.Č60	oko 58	1—3	do 3	do 2	do 2	ostatak	60	25	15	150	Dijelovi ventila i kormila, nepodesan za dinamička naprezanja
Ostale nečistoće — ukupno najviše 1,8 do 2,3%.											

Gnječive mjedi — specijalne (standardne) prema našim standardima (JUS C.D2.101 — 1959) vidi u tablici 11.

Specijalne gnječive mjedi

Tablica 11.

Oznaka	Sastav u %									Maksimalni % nečistoće	Primjena
	Cu	Ni	Mn	Fe	Sn	Al	Si	Pb	Zn		
Cu58ZnPb1Mn	56 do 61	do 0,5	0,4 do 2,0	0,2 do 0,6	do 0,5	do 1,0	do 0,5	1,0 do 2,0	ostatak	0,25	Šipke i tuljci za automate, za toplo tlačenje
Cu58ZnAl1	56 do 61	do 2,0	0,2 do 3,0	do 1,5	do 0,5	o,4 do 1,3	do 0,8	do 1,0	„	0,25	Otporna atmosferilijama, za kovanje i tlačenje, velike čvrstoće, za klizna opterećenja
Cu58ZnAl2	56 do 61	do 2,0	0,2 do 3,0	0,5 do 1,5	do 0,5	1,3 do 2,5	do 0,8	do 0,8	„	0,25	Otporno atmosferilijama, za kovanje i tlačenje, vrlo velike čvrstoće
Cu70Al1Si	67 do 71,0	do 0,5	do 1,0	do 0,5	—	0,5 do 2,0	0,3 do 0,7	—	„	0,25	Za opruge od lima, traka i žice. Za elektro-motore. Za klizna opterećenja
Cu71ZnSn1	70 do 72,5	do 0,5	do 0,1	do 0,07	0,9 do 1,3	—	—	do 0,7	„	—	Za cijevi i tijela kondenzatora i izmjenjivača topline
Cu76ZnAl2	76 do 79	do 0,5	do 0,1	do 0,07	—	1,8 do 2,3	—	do 0,07	„	—	

Nikal se uračunava u sadržaj bakra.

Karakteristično je za specijalne mjedi da se među primjesama kositar i aluminij međusobno isključuju. Tako kod ljevačkih mjedi uz veći sadržaj Al ne smije biti više od 0,25% Sn. Izbjegavati treba fosfor (za pješčani liv maks. 0,05%, a za kokilni 0,01%) premda poboljšava livljivost.

Za tlačni liv treba iz slitina izlučiti također olovo i bizmut.

11.422.2 Crveni metal i crveni liv

Po sastavu spadaju među bronce, no standardi ih s obzirom na primjenu ubrajaju među mjedi.

Crveni liv ima izvrsna ljevačka svojstva pa je posebno prikladan za kompaktne odljevke, nepropusne za tekućine (armatura, dijelovi sisaljki te ležišta i klizišta uz dodatak olova). Homogeno područje α vrlo je široko, tj. za sve vrste crvenog liva koji se u praksi izrađuje.

I ovdje imamo analognu podjelu kao dosad:

11.422.21 *Gnječive slitine («crveni metal») — standardne*, tablica 12.

Prema JUS C.D.103—1959 imamo tri vrste crvenog metala.

Gnječivi crveni metal

Tablica 12.

Oznaka	Sastav u %				Vlačna čvrstoća u kp/mm²	Rastežljivost δ_{10} u %	Tvrdoća u kp/mm²	Koeficijent toplinske rastežljivosti od 20—300 °C	Toplinska vodljivost cal/cm°s
	Cu	Sn	Zn	Pb					
CuSn4Zn4	oko 92	3—5	3—5	do 0,05	35 do 63	50 do 6	75 do 165	$18 \cdot 10^{-6}$/°K	0,22
CuSn6Zn6	oko 88	5—7	5—7	do 0,05	39 do 70	52 do 7	85 do 185	$18 \cdot 10^{-6}$/°K	0,17
CuSn4Zn4 Pb4	oko 88	3—5	3—5	3—5	33 do 46	40 do 8	70 do 135	$18 \cdot 10^{-6}$/°K	0,22

Primjena CuSn4Zn4: opruge i manometarske cijevi

„ CuSn6Zn6: opruge, manometarske cijevi i membrane u električnim mjernim i signalnim instrumentima

„ CuSn4Zn4Pb4: limovi i trake za savijanje ležišnih tuljaka

11.422.22 *Ljevačke vrste («crveni liv») — standardne*

Prema JUS C.D2.304 — 1957 imamo šest vrsta crvenog liva, što prikazuje tablica 13.

Crveni liv

Tablica 13.

Oznaka	Sastav u %				Mehanička svojstva				Primjena
					Minimalna				
	Cu	Sn	Zn	Pb	Vlačna čvrstoća u kp/mm²	0,2-gran. u kp/mm²	Rastežljivost δ_5 u %	Prosječna tvrdoća u kp/mm²	
P.CuSn10 Zn4	86	10	4	—	20	12	10	80	Jako opterećena armatura, ležaji, tuljci, sporohodna pužasta kola, košuljice valjaka i brodskih osovina
C.CuSn10 Zn4	86	10	4	—	27	16	8	90	
P.CuSn5 Zn7	85	5	7	3	15	8	10	70	Armatura do 225°C, klizni ležaji
C.CuSn5 Zn7	85	5	7	3	25	10	12	80	Jače opterećeni klizni ležaji, košuljice brodskih vratila, sjedišta ventila i tarni prstenovi
P.CuSn4 Zn2	93	4	2	1	20	6	25	60	Cijevne prirubnice za lemljenje
P.CuSn5 ZnPb	84	5	7	4	15	8	6	70	Ležaji bez posebnih zahtjeva

Od veće važnosti još su i ova svojstva:

Za crveni liv sa:	5% Sn	10% Sn
Interval skrućivanja u °C:	988 do 1 004	854 do 1 000
Specifična težina u kg/mm²:	8,8	8,8
Koeficijent toplinskog rastezanja/stup.:	$19{,}1 \times 10^{-6}$	18×10^{-6}
Modul elastičnosti kp/mm²:	9 500	9 800

Inozemni standardi predvidaju još višestruke slitine kositrene bronce kao varijante crvenog metala (vidi DIN 1705—1963).

11.422.3 Novo srebro

To je slitina bakra (42 do 67%), cinka (12 do 45%) i nikla (10 do 26%). Nikal povećava žilavost i otpornost koroziji. Cink istodobno poboljšava livljivost i pojeftinjuje slitinu, a bakar olakšava gnječivost. Srebrnasta boja dolazi od nikla i cinka.

I ovdje postoji tzv. homogeno α-područje, prikladno za hladno gnječenje, te heterogeno, sa slitinama za toplo gnječenje.

Legirni dodaci:

- olovo (1—2,5%) poboljšava režljivost
- kositar (do 6%) poboljšava livljivost
- Mn, Mg, Al, P (u vrlo ograničenim količinama) dodavaju se u svrhu dezoksidacije.

Svi ostali sastojci (Fe, Sb, As, C, S, O) štetni su, smanjuju gnječivost.

Standardni izbor vidi u tablici 14. (JUS C.D2.107 — 1959).

Novo srebro

Tablica 14.

Oznaka	Sastav u %				Mehanička svojstva				Primjena
	Cu	Zn	Ni	Pb	Vlačna čvrstoća u kp/mm²	0,2-granica u kp/mm²	Rastežljivost δ_{10} u %	Tvrdoća u kp/mm²	
Cu47ZnNi12	45 do 49	38 do 44	11 do 13	do 0,1	45—60	23—40	30—5	110 do 175	Za predmete zgradarstva
Cu57ZnNi12Pb	55 do 59	26 do 32	11 do 13	do 2,5	40—56	20—35	35—8	80 do 160	Za ključeve i predmete fine mehanike i optike
Cu65ZnNi12	63 do 67	20 do 26	11 do 13	do 0,05	40—72	20—40	40—1,5	85 do 190	Za duboko izvlačenje. Za posuđe i ukrasne predmete te zgradarstvo
Cu62ZnNi18	60 do 64	17 do 23	17 do 19	do 0,03	42—76	20—45	40—1	85 do 165	Kao gore i za medicinske instrumente, za opruge

Vrijednosti mehaničkih svojstava dane su u svrhu orijentacije i u širokim granicama jer ovise o stanju ugnječenosti. Za vrlo tvrdo stanje slitine imaju razmjerno visok modul elastičnosti:

$$13 \cdot 10^3 \text{ do } 14 \cdot 10^3 \text{ kp/mm}^2.$$

Sve vrste novog srebra dobro se leme i zavaruju.

11.422.4 Tvrdi lemovi (lemovi višeg tališta)

Tvrdi lemovi spadaju u mjedi. Od njih se zahtijeva:

- što niže talište da se ne bi pregrijao **osnovni** materijal
- omogućenje što veće difuzije.

Obični tvrdi lemovi su mjedi s višim postotkom cinka, čak do 56% Zn. To snizuje talište. Zovu se još mjedeni (mesingasti) lemovi.

Srebrni tvrdi lemovi su mjedi legirane srebrom, koje također snizuju talište.

Lemljenje se primjenjuje za spajanje **vrlo različitih** metala (visoko taljivi čelici, sivi liv, bakar, mjedi itd.) pa ih ima mnogo vrsta.

JUS C.D2.306 – 1957, daje standardan izbor **običnih** tvrdih lemova. Vidi tablicu 15.

Tvrdi lemovi Tablica 15.

Oznaka	Sastav u %		Temperatura lemljenja u °C	Specifična težina u kp/dm³	Primjena
	Cu	Zn minimum			
S.Cu85Zn	84–86	13	1 020	8,7	Za čelik, čelični i sivi liv, za bakar
S.Cu63Zn	62–64	35	910	8,4	Kao gore
S.Cu60Zn	59–61	38	900	8,4	Kao gore
S.Cu54Zn	53–55	44	890	8,3	Kao prije i za mjed
S.Cu48Zn	47–49	50	870	8,2	Kao prije i za Ni-slitine
S.Cu42Zn	41–43	56	845	8,1	Predmeti od Ni i Cu

Srebrni lemovi

Njihova temperatura lemljenja spušta se od 870 na 620°C.

Standardan izbor srebrnih lemova vidi u standardu JUS C.D2.307 – 1957.

11.43 LAKI METALI

Ovamo ubrajamo metale sa specifičnom težinom ispod 5 g/cm³. Njihova grupna podjela je ova:

Podjela lakih metala Tablica 16.

Skupina	Prijelazna	Lagana	Ultralagana						
	3–5 p/cm³	2–3 p/cm³	ispod 2 p/cm³						
Element	Ti	Al	Cs	Be	Mg	Ca	Na	K	Li
Specifična težina g/cm³ pri 20°C	4,5	2,7	1,89	1,85	1,74	1,55	0,971	0,862 1	0,574

Uz svoju glavnu odliku – nisku specifičnu težinu – laki metali su dovoljno čvrsti za konstruktivnu primjenu. U slitinama katkad i nadmašuju čelik (titanove slitine), a još više bakrene slitine, koje su, uostalom, i skuplje i deficitarnije od lakih (npr. aluminija).

Razmotrimo ih, dakle, redom, prema njihovoj praktičnoj važnosti.

11.431 Aluminij (Al)

U tablici 11.52–1 vidimo glavna svojstva aluminija.

Čist aluminij se najčešće primjenjuje ondje gdje treba iskoristiti njegovu antikorozivnost, tj. ne gledajući toliko na manju čvrstoću:

- kao dezoksidacijsko sredstvo u metalurgiji (umirivanje strukture)
- u gradnji aparata, posuda i rezervoara za transport u kemijskoj i prehrambenoj industriji
- za izradu kuhinjskog posuđa i metalnih proizvoda široke potrošnje (potpuno je neotrovan)
- u građevinarstvu (krovovi, žljebovi i ukrasi)
- za proizvodnju ambalaže (folije, tube, limenke itd.)
- u elektrotehnici, tj. za električne vodiče.
- u aluminotermiji ($Al + Fe_2O_3$ razvija toplinu u metalurgiji).

U tablici 17. imamo pregled standardnih vrsta aluminija veće i manje čistoće, prema JUS C.C1.100–1959.

Podaci su dani u širokim granicama jer ovise o stupnju ugnječenosti.

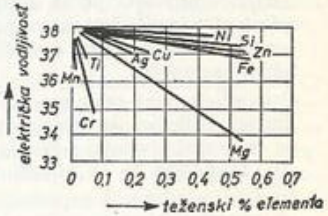
Vrste aluminija Tablica 17.

Oznaka	Maksimalan sadržaj nečistoća	Mehanička svojstva				Primjena
		Vlačna čvrstoća u kp/mm²	0,2-granica u kp/mm²	Rastežljivost δ_{10} u %	Tvrdoća u kp/mm²	
Al 99,8	0,2					Za šipke, profile, limove, trake, žicu i cijevi različitog stanja ugnječenosti
Al 99,7	0,3					
Al 99,5	0,5	7–18	2–15	35–4	18–40	
Al 99,3	0,7					
Al 99,0	1,0	8–20	2,5–16	32–2	20–42	

Niska čvrstoća čistog aluminija (prema spomenutom standardu) čini teškoće i u elektro-tehnici, gdje je inačepo svom optimalnom efektu Al na prvom mjestu jer ne može služiti za teške kablove (nije dovoljno čvrst), niti za klizne kontakte (nije dovoljno tvrd), npr. za tram- vajske lire. Ipak ima uspjelih kombinacija s čelikom pa već imamo tzv. **alu-čel-žice.**

Za električnu vodljivost po pravilu se zahtijeva (kao minimum) čistoća 99,5% Al. Na ⓰ vidi se kako određene primjese smanjuju električnu vodljivost.

Napose su nepovoljni Mn, Cr, Ti, a nešto manje Mg, Ag i Cu, dok Ni, Si, Zn i Fe djeluju sasvim blago.



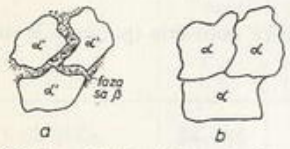
⓰ Djelovanje primjesa na električnu vodljivost aluminija

11.431.1 Struktura Al-slitina

Tehnička primjenljivost aluminijevih slitina temelji se na njihovoj toplinskoj obradljivosti pa ćemo ukratko razmotriti suštinske pojave.

Aluminij nema alotropskih modifikacija pa se obradivost zasniva isključivo na **promjeni rastvorljivosti** nekih faza koje se mogu toplinski »očvrstiti«. Za razliku od čelika, aluminijska se slitina može očvrstiti samo ako bar jedna od faza postoji u obliku intermetalnog (tj. kemijskog) spoja (npr. $CuAl_2$, Al_2Mg_2, Mg_2Si). Ishodno stanje ima heterogenu strukturu:

primarni α mješanci + β kristali (intermetalni spoj).



⑰ Intermetalni spoj (npr. CuAl2, Al_2Mg_2, Mg_2Si itd.)

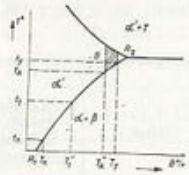
Grubu predodžbu o toj kombinaciji vidimo na ⑰a, b.

Primarni (α') mješanci imaju plošno centriranu rešetku, a opkoljeni su drugom fazom, koja može biti sastavljena od samih β-kristala ili je kombinirana još s nekim kristalima. To može, na primjer, biti eutektikum (»dural«) pa imamo ovu strukturu slitine:

$$\alpha + (\alpha^e + \beta^e) \text{ (u potpunoj ravnoteži).}$$

Bilo kako bilo, intermetalni kristali β su obvezatno prisutni, dokle god je slitina toplinski neobrađena. To smanjuje njenu rastežljivost.

Na dijagramu slijevanja ⑱ vidimo da se pri grijanju β-kristali sve više rastvaraju u α-mješance budući da krivulja rastvorljivosti $R_1 - R_2$ raste udesno.



⑱ Dijagram slijevanja toplinski očvrstljivih slitina (općenito)

Pri normalnoj temperaturi t_n imaju α-mješanci rastvorenu tek neznatnu količinu komponente B, tj. r_n%. Pri nekoj višoj temperaturi t_1, α-mješanci će sadržavati r_1' komponente B, pri t_x analogno r_x'' itd. Pri tome se može iscrpsti sav sadržaj B-komponente koji slitina ima pa će daljnje grijanje (npr. da se to dogodilo pri koncentraciji r_x'') na t_y služiti za rastvaranje opkoljavajuće faze, dakle i sav β u njoj. Tada će se slitina sastojati od samih α-mješanaca kako to prikazuje ⑰b. Ti α-mješanci će pri toj temperaturi t_y, dakle, i dalje imati koncentraciju r_x''*. Rastvorljivost je ovdje i nešto povećana (tj. sve do krivulje $R_1 - R_2$), no ona ostaje neiscrpljena pa je to jedan znak sigurnosti da je rastvaranje β-kristala potpuno provedeno.

Hlađenje slitine (dovoljno lagano), s temperature t_y, dovest će nas opet u početno stanje ravnoteže prema ⑰a. **Naglim** hlađenjem, dakako, onemogućuje se difuzija pa će se α-mješanci zadržati sve do normalne temperature t_n bez ikakva izlučivanja neke druge faze iz tih mješanaca, koji će i dalje zadržati teksturni izgled prema ⑰b, a koncentracija će biti r_x''. To za α-mješance, naravno, nije normalno jer za njih stanje ravnoteže kod t_n znači koncentraciju r_n. Struktura je, dakle, znatno prezasićena, a to izvitoperuje α-rešetku. Ona, doduše, i nadalje ostaje plošno centriran kub, ali je u metastabilnoj ravnoteži.

Ostaje ipak neka mala moć difuzije, koja tokom vremena i pri sobnoj temperaturi ima stanovito djelovanje, omogućavajući neka neznatna seljenja unutar samih mješanaca, pa će se malo pomalo pojavljivati i intermetalni spojevi i rešetke će se postepeno iznakaziti. Posljedice će se osjetiti na mehaničkim svojstvima.

Vratimo se situaciji neposredno nakon gašenja i istaknimo rezultate opisane toplinske obrade. Rešetka α prezasićena je β-kristalima i izvitoperena. Nastala je krhka obloga s β-fazom ⑰a; to znatno povećava rastežljivost, a nešto i čvrstoću i tvrdoću. Ponavljamo da to vrijedi za stanje neposredno nakon gašenja.

Kasnije se postepeno odigrava proces vrlo spore difuzije, koji zovemo **dozrijevanjem.**

* Znači, slitina će biti u stanovitom smislu pregrijana (vidi točku B).

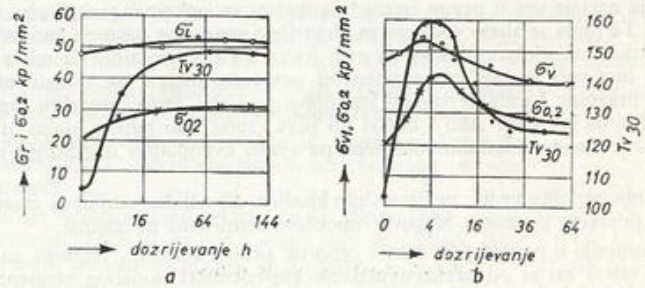
Prirodno dozrijevanje (to nije isto što i »starenje«) različito je dugotrajno, tj. od 2 do 4 dana. B-komponenta se u to vrijeme odgovarajuće pregrupira i time uništava klizne ravnine i pravce u kristalitima α-mješanaca. Staviše, α-kristali kompliciraju svoju rešetku sa **sve manjom rastežljivošću,** ali uz **porast čvrstoće i tvrdoće** strukture. Konačno se dozrijevanje dovršava, a time i proces očvršćavanja.

Svrha je opisane toplinske obradbe, dakle, očvršćavanje. Kako vidimo, ono se sastoji:

- od grijanja do temperature nešto iznad granice rastvorljivosti postojećih faza u α-mješance
- od gašenja do normalne temperature i
- od prirodnog dozrijevanja.

Prirodno dozrijevanje često se zamjenjuje **umjetnim** dozrijevanjem, tj. prigrijavanjem do blizu temperature na granici rastvorljivosti za dotičnu slitinu jer to povećava difuziju. Pri previsokom grijanju došlo bi, naravno, do pravog izlučivanja B-komponente i do novog stvaranja obloge s β-kristalima, pa bi se učvršćenje ukinulo. U praksi umjetno dozrijevanje traje od 0,5 do 4 sata, ovisno o slitini i o temperaturi prigrijanja. To ujedno uklanja napetosti nastale pri gašenju.

Postoje, dakako, znatne razlike između prirodnog i umjetnog dozrijevanja. Vidi se to iz ⑲, gdje se dijagram a odnosi na prirodno, a b na umjetno dozrijevanje.



⑲ Mehanička svojstva nakon prirodnog (a) i umjetnog (b) dozrijevanja

Za orijentaciju se može reći da su temperature umjetnog dozrijevanja negdje između 80 i 200°C, najčešće oko 120°C. a trajanje je većinom do dva sata. Prekoračenje temperature i trajanja vodi do žarenja koje sve vraća u početno stanje ⑰a.

Dozrijevanje se sprečava onemogućavanjem difuzije, npr. pothladivanjem na −15°C. Rešetka time još nije iznakažena, niti će biti, a ostat će i mehanička svojstva koja tom stanju odgovaraju, tj. vrlo znatna rastežljivost. Pakiranjem slitine u suhi led može se takvo stanje održavati godinama. Ako se, na primjer, zakovice nabave u toplinski obrađenom, ali nedozrelom stanju, ostat će u suhom ledu mekane sve do upotrebe, a u zakivanom stanju će tokom vremena očvrsnuti i time pojačati spoj. Može se, dakako, i naručiti roba bez toplinske obrade, koja se izvodi kasnije, tik prije upotrebe.

Sve slitine nisu, dakako, jednako očvrstljive. Najpovoljnija je koncentracija nešto ispred tačke R_2, a u pogledu temperature treba da dođemo u šrafirano područje ⑱. Taj je temperaturni raspon razmjerno malen, a to zahtijeva tačna mjerenja temperature s regulacijom osjetljivosti od ± 2°C (dok je kod čelika ± 5°). Ako ne raspolažemo takvim mogućnostima, moramo se ograničiti na slitine s većim intervalima homogenog α-područja. To su, na primjer, manje koncentracije (dakle sa slabijom očvrstljivošću).

11.431.2 Ostala svojstva Al-slitina

Hladno gnječenje je najuspješnije neposredno nakon gašenja (homogeno α-stanje!), tj. prije dozrijevanja prezasićenih α-mješanaca. Izvorno stanje prije tog zasićenja nije povoljno zbog obloge s krhkim β-kristalima. Također nije prikladna za hladno gnječenje iznakažena rešetka nakon dozrijevanja (smanjena rastežljivost).

Toplo gnječenje se uvijek izvodi pri **povišenoj** temperaturi, koja odgovara stanju homogenog područja α-mješanaca i kao takva nema veze s raznim stanjima očvršćenja.

Strojna obrada (rezanje skidanjem strugotine) nije povoljna kod slitine homogenog stanja, tj. niti prije grijanja, niti odmah nakon gašenja, (kovrčasta strugotina), već je najbolja za heterogenu strukturu prije takve toplinske obrade jer tada još nema ni prevelike otpornosti niti rastežljivosti. Nepovoljno je i stanje nakon dozrijevanja. Načelno su za obradu Al i njegovih slitina potrebni brzohodni alatni strojevi masivne konstrukcije i specijalno konstruiran alat, uglavnom s oštrim reznim kutovima. Robustnost strojeva je napose važna za postizavanje lijepih i glatkih površina rezanja jer velike brzine rezanja inače uzrokuju titranje strojeva i alata, a to izaziva hrapavu, odnosno iščupanu površinu. Ručna obrada obavlja se također posebnim alatima: zaobljeni zupci, bez unakrsnih žljebova.

Laštenje je otežano, jer je ogrebotine teško ukloniti zbog mekoće površina.

Antikorozivna zaštita je izrazito svojstvo tih metala. Ipak, kod raznih Al slitina ona je različita. Elementu Al opada to svojstvo s porastom nečistoća (osobito Cu i Fe, manje Si i Zn). Najotporniji je protiv atmosferilija jer ga u tom slučaju štiti prozirna oksidna **opna,** koja nastaje već u prvim trenucima dodira sa zrakom i prekriva ga u debljini od 0,01 μm. Ta opna je slabo vodljiva za električnu struju pa nastupa kao izolacija metala protiv galvanskog djelovanja koje na svoj način izaziva koroziju. Za opnu je karakteristično da ima veći specifičan volumen od osnovnog metala pa se zato utiskuje u sve postojeće praznine i time hermetski ispunjava svoj sloj, štiteći metalnu osnovu od daljnjeg prodiranja korozije. Ako i dolazi do pora (zbog vrlo tankog sloja), u opni se one brzo napune nanovo nastalim oksidom pa svako eventualno nagrizanje zamire već u početku.

Aluminij nije otporan protiv nekih voćnih kiselina, ali odlično odolijeva mastima i uljima. Glatkoća površine povećava njegovu otpornost kemijskim utjecajima.

Slitine aluminija u prosjeku su manje otporne protiv korozije. Njihova antikorozivnost u velikoj mjeri zavisi od **elektrostatične suprotnosti** dodanog elementa prema Al, pa i od individualnih osobina tih elemenata. Jedino se za Cu tvrdi da je štetan u svakoj prilici, a Mn je gotovo bez utjecaja.

Strukturno stanje ima vidan utjecaj: homogene faze otpornije su od višefaznih (heterogenih), dakle homogenizacija poboljšava antikorozivnost.

Zaštita od korozije prije svega se povisuje **pojačavanjem** prirodne oksidne **opne,** i to kod čistog aluminija i kod slitina na bazi Mn i Mg. To se postiže uronjavanjem u prikladna kemijska sredstva (»anodna oksidacija«). Nakon toga može se Al obojiti bilo kojom bojom.

Heterogene slitine ne mogu se na taj način zaštititi (galvanske struje), pa se prekrivaju **premazima** (lakovima) ili tzv. **platiranjem,** tj. natiskivanjem tankih antikorozivnih limova prilikom valjanja slitine u vrućem stanju, s odnosom debljina najčešće 1 : 20. Redovito se kao zaštitni sloj (obostrano ili jednostrano) uzima lim čistog Al ili Al-Mg, Al-Mn, pa i slitine Al-Zn. Strogo treba paziti da ubrzanom difuzijom ne izdifundira npr. bakar iz osnovnog materijala kroz zaštitni sloj sve do površine jer bi to upropastilo sav trud. Stoga se stupanj difuzije regulira odnosom početnih debljina, ovisno o trajanju i o tipu postupka valjanja. Osim toga, moć difuzije može se i naknadno obnoviti bilo kakvim podizanjem temperature (toplinske obrade i slično).

Livljivost Al i njegovih slitina nije osobita. Aluminij je sklon oksidiranju u Al_2O_3, koji ima visoko talište (oko 2 000 °C), pa se skrutne (kod 600–800°C) još prije nego dođe do taljenja i ulijevanja. Zato se slitinama dodavaju odgovarajuće primjese, koje s troškom čine eutektične mješavine i snizuju talište troske. Osim toga, specifična težina oksida ne razlikuje se mnogo od slitine pa oni lebde ili čak tonu u taljevini umjesto da isplivaju na površinu.

Lijevanje je nepovoljno i uslijed niske specifične težine, taljevine (oko 2,4 g/cm³) pa se kalupi slabo pune. Neugodnosti čini također veliko skupljanje slitina (od 1,5 do 2%) jer to zahtijeva mnogo više priljevaka nego kod slitina bakra ili sivog liva.

Zavarljivost je također ograničena jer i pri zavarivanju nastaju oksidi pa treba primijeniti odgovarajuća taljiva ili zaštitne plinove (zavarivanje pod argonom). Zavarivanjem se smanjuje čvrstoća u dotičnom području. Veliku teškoću čini i visoka toplinska vodljivost, koja odvodi toplinu, pa treba držati šav na potrebnoj zagrijanosti. Osim toga zavarivane Al-slitine gube čvrstoću u području zavarenog spoja. Povoljnije je, dakle, zakivanje nekih Al-slitina.

Lemljenje izaziva slične nepovoljnosti. **Tvrdo** lemljenje (pri 500–600°C) Al-lemom suviše zagrijava Al-slitinu. Osim toga, nakon tog lemljenja potrebno je ponovno očvršćenje.

Meko lemljenje je primjenljivije, osim za slitine s Mg, jer se tada smanjuje otpornost koroziji (razlika elektrostatskog potencijala).

Lijepljenje ne mijenja karakteristike pojedinih slitina. Pogodne su umjetne smole koje se skrućuju kemijski. Nastali spojevi su čvrsti pa zamjenjuju sve ostale postupke sastavljanja. Zahtijevaju, dakako, odgovarajuće konstrukcijsko oblikovanje predmeta.

11.431.3 Vrste aluminijskih slitina

Silumin je slitina otprilike sa 13% silicija. To je neposredna blizina eutektičkog sastava (11,7%) Kao donja granica postavlja se 12,8% Si. Manji sadržaji zadovoljavaju samo ako su inače slitine legirane još sa Mg ili Cu. Takvi su odljevci ujedno očvrstljivi.

Mg_2Si je slitina s malim postocima Si i Mg, s posebnom fazom kemijskog spoja Mg_2Si. Nastaje vrlo **očvrstljiva** i ujedno **antikorozivna** slitina.

Dural spada u sistem Al–Cu, visoko je očvrstljiv. Bakar je ograničen sa 5,7%. U očvršćenu stanju ima čvrstoću između 36 i 56 kp/mm².

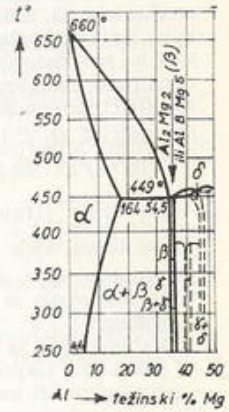
Zn—Al slitine spadaju među klasične Al slitine koje su u novije vrijeme uz dodatak kroma postale slitine najveće čvrstoće. Očvrsnute postižu $\sigma_L = 50–65$ kp/mm².

Sistem Al—Mg daje izrazito antikorozivne slitine, osobito u odnosu prema morskoj vodi. Očvrstljive su tek iznad 4,4% Mg ⑳.

Glavni je nedostatak Al-slitina njihova slaba krutost. Modul elastičnosti im je 6 000–7 800 kp/mm².

Područja primjene Al-slitina jesu:

- avijacija, automobilizam
- titrajne mase strojeva
- okovi i armatura
- električni vodiči
- ambalaža (limenke, folije, tube)
- aparati, osobito prijenosni
- reflektori.



⑳ Dijagram slijevanja sistema Al—Mg

11.432 Magnezij (Mg) i njegove slitine

Magnezij je praktički najlakši metal (1,7 p/cm³). Kristalizira u heksagonskoj rešetki; nije osobito gnječiv, naginje kalavosti. Vrlo se lako zapali jer mu je vrelište (1 097°C) razmjerno blizu talištu (651°C). Gori bijelim intenzivnim plamenom. Taj afinitet prema kisiku najveći mu je nedostatak jer oksidacija prodire i u nutrinu. Treba ga, dakle, zaštićivati, napose pri povišenim temperaturama. I strugotina može naglo planuti.

U strojarstvu se primjenjuju samo slitine iako su još slabije krute od aluminijevih ($E = 4\,350-4\,650$ kp/mm²). Odlika im je žilavost, koja dolazi do izražaja kao otpornost udarnim opterećenjima, te dinamička izdržljivost protiv titrajnih naprezanja.

Magnezijeve slitine prave se od ovih primjesa:

- aluminija (do 11%), koji povećava tvrdoću, vlačnu čvrstoću i granicu razvlačenja
- cinka (do 2%), koji također povećava mehanička svojstva, ali u manjoj mjeri, no ipak povisuje gnječivost i livljivost
- mangana (do 0,5%), koji umanjuje korozivnost Mg-slitinama.

Korisni su još cer, cirkonij i berilij (poboljšavanje mehaničkih svojstava u toplu stanju, usitnjenje zrna, smanjenje oksidacije).

Štetne primjese su **Ni**, Fe, Cu i Si (povećavaju korozivnost).

11.432.1 Vrste Mg-slitina

- **Ljevačke Mg-slitine** nisu pogodne za dobivanje zbog potrebe stalnog zaštićivanja od atmosfere sumporom, ali imaju nakon toga vrlo dobru režljivost.

  Stezanje je veliko (pri skrućivanju). Zaštititi treba i odljevke (lakom).
- **Gnječene Mg-slitine** su pri niskoj temperaturi tek slabo gnječive (kalavost heksagonske rešetke), pa se gnječe pri 280—450°C. S obzirom na razlike u stanju ugnječenosti i toplinske obrade vrijednosti za mehanička svojstva zahvaćaju široko područje. U našoj zemlji još nisu standardizirane Mg-slitine, stoga ih treba tražiti u inozemnim standardima.

11.433 Titan i njegove slitine

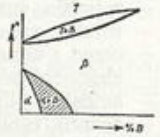
Proizvodnja titana i slitina razvija se tek od 1950. godine. Iz njegovih karakteristika (vidi tablicu 11.52—1) vidi se da po čvrstoći i rastežljivosti nadmašuje sve ostale čiste metale. Među važnija titanova svojstva ubrajamo polimorfnost, tj. martensitičnu pretvorbu kristala, zatim visoku antikorozivnost pri normalnim, ne previsokim temperaturama, koja nadmašuje i krom-nikal-čelike sastava 18/8. Stvara, naime, čvrstu opnu oksida na površini. Spomenuta antikorozivnost, međutim, nestaje pri visokim temperaturama pa se titan kemijski aktivira: spaja se s O, N, C, a rastvara i H. Treba ga, dakle, **zaštititi** (vakuumom ili inertnim plinovima, Ar ili He). To poskupljuje proizvodnju titana.

Elementi N, O, C i H tvore uključinske mješance, koji otežavaju gnječivost. Vodik uz to obara i žilavost. Upotrebljiv je do 350°C.

11.433.1 Vrste titanovih slitina

Slitine titana dijele se u tri skupine:

- neutralne (npr. cirkonij) jer ne utječu na modifikacije kristala;
- stabilizacione za α-fazu, pri povišenju temperature (npr. aluminij);
- stabilizacijske za β-fazu, pri opadanju temperature, tako da ona postoji i ispod sobne temperature (predstavnici kao legirni elementi jesu: V, Mo, Mn, Cr).



Ⓐ Načelna podjela titanovih slitina

Nastaju, dakle, tri tipa titanovih slitina Ⓐ:

- na temelju α-faze
- na temelju smiješanih faza α + β (najprošireniје)
- na temelju β-faze (praktički se ne upotrebljava).

Slitina α + β je sposobna za toplinsku obradu, čime joj se znatno povisuju mehanička svojstva. Osim toga, faza β (prostorno centrirana kubna rešetka) poboljšava gnječivost. Istodobno α-komponenta apsorbira štetne elemente O, N, C, H pa oni ne onečišćuju fazu β, što također ide u prilog gnječivosti.

Izbor titanovih slitina prikazuje tablica 18.

Slitine titana Tablica 18.

Oznaka	Sastav u % (približno)	Mehanična svojstva (orijentacijski)				Primjedba
		σ_L u kp/mm²	$\sigma_{0,2}$ u kp/mm²	δ u %	ψ u %	
TiAl5Cr3	5% Al i 3% Cr	95—115	85—105	10—15	25—40	Za temperaturu do 350°C
TiAl53Mn	3% Al i 1,5% Mn	70—85	55—65	15—40	25—55	Za temperaturu do 350°C; vrlo gnječiva, za tiskanje i svarivanje
TiAl614	6% Al i 4% V	90—100	88—90	8—13	30—45	Za temperaturu do 400°C, za svarivanje
TiAl6Mo3	6% Al i 3%Mo	105—118	95—110	9—15	30—55	Za temperature do 500°C; za otkovke i tiskane predmete

Odlike tih slitina vide se iz podataka o mehanič kim svojstvima pri raznim (pa i razmjerno visokim) temperaturama, uključiv rastežljivos t.

11.433.2 Toplinska obrada

Slitine sa smiješanom (α + β)-strukturom toplinski su obradljive.

Postoje uglavnom tri tipa toplinskih obrada:

- **rekristalizacija** za hladno gnječenu teksturu (radi smekšavanja i vraćanja rastežljivosti), na temperaturi 650—700°C (kod čistog titana 500—550°C);
- **stabilizacija** za strukturu koja je tokom zagrijavanja postala krhka; predmet se 2—4 sata drži na temperaturi od 700 do 750°C;
- **očvršćavanje** (kaljenje + popuštanje); zagrijava se na 700 do 950°C (prema tipu slitine), gasi se u vodi, a popušta dugotrajnim držanjem (4 do 48 sati) na 430 do 550°C. Što je temperatura viša, trajanje je kraće.

Različitim izborom temperatura kaljenja i popuštanja postižu se i prijelazni slučajevi, što znači i povoljno stupnjevanje mehaničkih svojstava.

Kemijsko-toplinska obrada, cementiranje i nitriranje. Nastaju karbonitridi i oni stvaraju vrlo tvrdu površinu, koja odolijeva trošenju.

Titan je materijal budućnosti u zrakoplovstvu, procesnoj tehnici (kemijska i prehrambena industrija) te u energetskoj industriji (lopatice turbokompresora i posljednjih stupnjeva parnih turbina).

11.44 METALI NISKOG TALIŠTA

U tu skupinu spadaju metali s talištem ispod 500°C. To su:

cink (Zn)	s talištem	pri	410°C
olovo (Pb)	„	„	327°C
kadmij (Cd)	„	„	321°C
bizmut (Bi)	„	„	271°C
kositar (Sn)	„	„	232°C.

11.441 Cink i njegove slitine

U narednom pregledu nalazimo glavne mehaničke karakteristike cinka.
Lijevani cink se kao tlačni liv upotrebljava za ukrase, okove i natpise.
Gnječeni cink nastupa u različitim stupnjevima čistoće, prema tablici 19.

Gnječeni cink Tablica 19.

Oznaka	Postotak čistoće	Stanje	Mehanička svojstva (orijentacijski)			Namjena
			σ_L kp/mm²	δ_{10} %	HB (5/250/30)	
Običan cink	98,5—99	valjan u paketima	19—29	23—14	45—50	Za limarske radove, za tlačno oblikovanje i za jednostavno provlačenje
		valjan u trakama	26—36	40—23	48—51	Za tiskanje i za tlačno gladenje
Rafinirani cink	99,9—99,995	valjan u trakama	12—14	60—52	32—34	Za hladno uštrcavanje, za profilno provlačenje i za sjajno tlačno gla-đenje
Poseban cink	99—99,5	mekan srednji	Prema stanju, vrijednosti su između onih za običan i onih za rafinirani cink			Dobro gnječiv, uglavnom za provlačenje i tlačno oblikovanje

Daljnja primjena cinka je u slitinama, što se vidi iz tablice 20.

Slitine cinka Tablica 20.

Oznaka	Sastav u %	Stanje	Mehanička svojstva (orijentacijski)				
			σ_L kp/mm²	δ_{10} %	HB 5/250/30	Žilavost u kpcm/mm²	Tlačna čvrstoća u kp/mm²
ZnAl4	Al 3,5—4,3 Cu do 0,6 Mg 0,02—0,05	tlačni liv	25—30	6—3	70—90	8—12	40—45
ZnAl4Cu	Al 3,5—4,3 Cu 0,6—1 Mg 0,02—0,05	tlačni liv pješčani liv kokilni liv	27—32 18—24 22—25	6—2 1,5—2 2,5—1	80—100 70—90 80—100	7—11 1,5—3 4—6	58—65 45—50
ZnAl6Cu1,5	Al 5,6—6,0 Cu 1,2—1,6	pješčani liv kokilni liv	20—23 25—28	3—1,5 4—2	85—95 90—100	3—5 5—10	
ZnAl4Cu	Al 3,7—4,3 Cu 0,6—1 Mg 0,02—0,5	tiješteno i provlačeno tvrdo	37—44 40—50	12—8 15—8	90—105 100—140	20—30	
ZnCu1	Cu 1,0—1,4 Mn do 0,4 Al do 0,2	tiješteno valjano (meko)	25—30 20—28	50—30 60—20	60—80 40—60		

Taljevina cinka služi za pocinčavanje u svrhu zaštićivanja protiv korozije (atmosferilija i blagih kemijskih utjecaja). Pocinčavanje se izvodi i naštrcavanjem i galvanskim putem, zatim uronjavanjem u rastaljeni cink* i šerardiziranjem.

11.441.1 Tehnološka svojstva

Cink se lako obrađuje gnječenjem, valjanjem, tiještenjem, provlačenjem, tiskanjem. Lako se i savija, obrubljuje itd. Gnječenjem se, doduše, očvršćuje, no već pri normalnoj temperaturi difuzija ga ponovo dovodi u stanje oporavka kristala. To je posljedica niskog tališta, zbog čega mu je rekristalizaciona temperatura između 50 i 100°C, a pri legiranim vrstama otprilike 150°C. Dakle, pri sobnoj temperaturi često je već u stanju oporavka. Kod čistog cinka se, prema tome, ne postiže trajno očvršćenje putem hladnog gnječenja. Ono se gubi već za mjesec dana. Kod legiranog cinka ta pojava nije toliko izrazita jer je nešto viša temperatura rekristalizacije.

Cink je **anizotropan,** tj. ima usmjerenu strukturu (i svojstva), uslijed kalavosti toplim gnječenjem: čisti cink kod 120°C, slitine nešto iznad 160°C. To su područja rekristalizacije.

Heksagonska rešetka je hladno lomljiva i sklona interkristaliničnoj koroziji.

Cinkov oksid se upotrebljava kao cinkovo bjelilo.

Lemna voda (rastvor $ZnCl_2$ i NH_4Cl u destiliranoj vodi) služi za čišćenje metala prije kositrenja, kao priprema za lemljenje, pa i za odmašćivanje lemila prije upotrebe.

11.442 Olovo i olovne slitine

Prema podacima iz tablice 21. olovo je vrlo rastežljiv metal male čvrstoće i tvrdoće. Očvršćenje nije moguće (jer mu je temperatura rekristalizacije čak ispod sobne temperature), osim ako ga legiramo drugim elementima. Pri mehaničkim ispitivanjima svi rezultati ovise o brzini opterećivanja. Nesigurna su i mjerenja tvrdoće po Brinellu jer se penetracija teško smiruje.

Olovo

Tablica 21.

Modul elastičnosti E pri 20°C	$1{,}5-1{,}8\times10^3$ kp/mm²
Vlačna čvrstoća u lijevanom i odžarenom stanju	1,5—1,8 kp/mm²
Izduženje δ_{10}, u lijevanom stanju	35—50 %
Kontrakcija ψ, u lijevanom stanju	60—70 %
Tvrdoća, u lijevanom stanju (10/250/60)	3,8—4,2 kp/mm²
Olovo je otrovan element.	

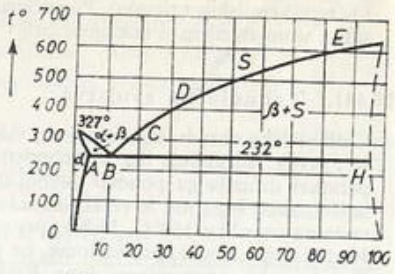
Otpornost prema koroziji temelji se na zaštitnom olovnom oksidu, koji joj odolijeva, napose na zraku. Olovo je otporno i protiv morske vode, u tvrdoj vodi (bar 7° po Engleru), te protiv H_2SO_4. Naprotiv, propada u mekoj vodi (zbog zraka i H_2CO_3) te u dušičnoj kiselini.

* («vrući postupak»)

11.422.1 Slitine olova

Čisto olovo je većinom premekano za direktnu upotrebu. Dodatkom od 0,5 do 3,0% antimona (Sb) dobiva se **tvrdo olovo** za različite svrhe: akumulatorske ploče, podloge, brtve, vodovodne cijevi. Na ㉒ vidi se da tvrdo olovo (slitina Pb—Sb) dobivamo već na podeutektičkoj strani, dok je nadeutektička strana predviđena za tipografska slova, za meke lemove i za antifrikcijske slitine sa 11,5 do 23% Sb i 3—7% Sn, s talištem 240—300°C i tvrdoćom 16,5—28 kp/mm².

Otvrđujuće djeluju na olovo još Ca, Ba, Na, Li, Mg, Al.



㉒ Dijagram slijevanja sistema Pb—Sb

11.443 Kadmij i njegove slitine (Cd)

U čistom stanju kadmij ima ove mehaničke karakteristike:

Tablica 22.

Modul elastičnosti E pri 20°C	$6{,}35 \times 10^3$	kp/mm²
Vlačna čvrstoća	6,5	kp/mm²
Produženje	20	%
Kontrakcija	50	%
Tvrdoća	10	kp/mm²

Kao takav upotrebljava se samo rastaljen, za uronjavanje predmeta u svrhu zaštite i za galvanske prevlake. Kao dodatak kadmij se upotrebljava u **nisko taljivim** slitinama (npr. Woodov metal s 50% Bi, 25% Pb, 12,5% Cd i 12,5% Sn, talište oko 60°C) i u **mekim lemovima** (56% Zn, 40% Cd, 4% Al, talište oko 270°C). Još je važniji u **kadmijevim antifrikcijskim slitinama** (vidi kasnije).

11.444 Kositar (Sn) i njegove slitine

Naziva se još kalaj, a glavne su mu mehaničke karakteristike:

Tablica 23.

Modul elastičnosti E pri 20°C	4 150—5 500	kp/mm²
Modul smicanja G pri 20°C	1 680—1 810	kp/mm²
Vlačna čvrstoća pri 20°C	1,5—2,7	kp/mm²
$\sigma_{0,2}$-granica pri 20°C	1,2	kp/mm²
Produženje pri 20°C	40—70%	
Kontrakcija pri 20°C	70—100%	
Tvrdoća pri 20°C	3,95—5,3	kp/mm²

Vidi se da je Sn vrlo rastežljiv (folije), nisko mu je talište, lijepog je izgleda, vrlo je slivljiv, neotrovan, otporan protiv korozije. Nedostatak mu je u skupoći i deficitnosti s obzirom na veliku primjenu. Antikorozivnost potječe od guste oksidne opne (bez sjaja). Otporan je protiv zraka, vode i razrijeđenih hladnih organskih i anorganskih kiselina, pa se njime zaštićuju drugi metali, najčešće uronjavanjem u rastaljeni Sn (tzv. vrući postupak), ali i galvanski.

Značajna je modifikacija koja nastupa kao tzv. kositrena kuga. To je raspad kositra u prašinu koja otpada s površine.

U slučaju stabilne ravnoteže temperatura modifikacije iznosi 13,2°C, no u praktičnim uvjetima to se događa tek pri znatno nižim temperaturama (do —50°C) jer svaka, pa i najmanja nečistoća u sastavu snizuje tu temperaturu modifikacije.

S obzirom na nisku temperaturu rekristalizacije kositar se ne očvršćuje hladnim gnječenjem jer je to za nj u stvari »toplo« gnječenje.

S temperaturom raste kositru krhkoća; pri 200°C može se stući u prah.

11.444.1 Primjena kositra

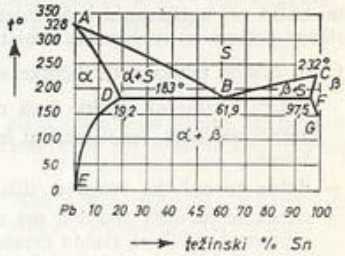
Od čistog kositra Sn izrađuje se »bijeli lim«, te folije i tube — sve za ambalažu, nadalje cijevi i za pivovare i za boje te kao zaštita drugim metalima, iako je mekan. Zbog ekonomičnosti se katkad legira olovom. Najvažnije su mu ipak slitine: bronca (Cu + Sn), crveni liv (Cu + Sn + Zn), zatim meki lemovi i antifrikcijske slitine (vidi kasnije). Kositreni oksid služi za bojenje u keramičkoj industriji te u industriji stakla i emajla.

11.445 Meki lemovi

Za meke lemove je karakteristično nisko talište; to se postiže slijevanjem niskotaljivih elemenata koji stvaranjem eutektičkih sistema daju slitine osobito niskog tališta.

Razmotrimo dijagram slijevanja **kositra s olovom** (klasičan lem) na ㉓.

Vidi se da eutektički sastav ima 61,9% Sn uz temperaturu 183°C. U praksi se uzima 60% Sn kao najkvalitetniji lem. Za manje osjetljive slučajeve uzima se, dakako, znatno manje kositra, ali se dodaje cink. Interval skrućivanja omogućuje duže zadržavanje u tjestastom stanju pa se u to vrijeme mogu na lemljenom mjestu izvoditi neke paralelne radnje (savijanje, poravnavanje itd.). Za lemljenje limenki s namirnicama uzima se, dakako, vrlo kvalitetan lem (90% Sn) umjesto otrovnih primjesa olova. Isto vrijedi za lemljenje elektrotehničkih aparata.



㉓ Dijagram slijevanja sistema Sn—Pb

Kadmijev lem ima talište 270°C pri sastavu 56% Zn, 40% Cd i 4% Al. Dobra je zamjena za kositrene lemove ako talište odgovara.

Višekomponentni lemovi su slitine eutektičnog karaktera pa imaju osobito niska tališta. Njihov pregled vidi se u tablici 24.

Meki lemovi Tablica 24.

Sastav lema	Talište, odnosno tališni interval u °C
51% Pb, 27% Bi, 22% Sn	96—150
52% Sn, 30% Pb, 13% Cd, 5%Bi	130
54% Bi, 26% Sn, 20% Cd	103
50% Bi, 18,25% Sn, 31,75% Pb	96
49% Bi, 12% Sn, 18% Pb, 21% In	57,8
50% Bi, 13,3% Sn, 26,7% Pb, 10% Cd	70
40% Bi, 11% Sn, 22% Pb, 8% Cd, 18% In, 1% Te	41,5

Meki lemovi se najčešće isporučuju u šipkama.

11.446 Antimon (Sb) i njegove slitine

Antimon je vrlo krhak materijal s ovim mehaničkim karakteristikama (tablica 25):

Antimon Tablica 25.

Modul elastičnosti E pri 20°C	8 000 kp/mm²
Tvrdoća pri 20°C (5/1000/60)	30 kp/mm²

Čist antimon se zbog svoje krhkoće ne primjenjuje. U slitinama povisuje tvrdoću osnovnom metalu. Služi i za dobivanje uštrcnog liva na bazi Pb i Sn, nadalje u proizvodnji šrapnelske i druge sačme te pri izradi nekih mekih lemova. Zatim se pojavljuje u tvrdom olovu za akumulatore, cijevi, kablove i brtve i u tipografskom olovu. Anorganski spojevi antimona upotrebljavaju se mnogo u kemijskoj proizvodnji, a organski u proizvodnji lijekova.

11.45 LEŽAJNE (ANTIFRIKCIJSKE) SLITINE

Tipične antifrikcijske slitine redovito su **niskog tališta** (240—500°C) iako im se na taj način pri ugrijavanju brže snizuje čvrstoća. Da se ne bi išlo u krajnost, uzimaju se slitine kojima su mehanička svojstva još pri 120°C dovoljno visoka.

Osim niskog tališta antifrikcijske slitine moraju imati još ova svojstva:

- dobru vodljivost topline koja nastaje pri trenju
- antikorozivnost, jer u mazivu ima kiselina koje izazivaju koroziju koja bi povećavala trenje
- dobra tehnološka svojstva (dilatacije, livljivost, obradivost)
- dobra mehanička svojstva pri radnoj temperaturi: dinamičku izdržljivost, tvrdoću, otpornost trošenju, tlačnu čvrstoću. Modul elastičnosti treba da je što niži kako bi se opterećenje preko ležajne slitine prenijelo na čvrstu podlogu.

Standardni izbor ležajnih slitina vidimo u tablici 26. Upada u oči da su uglavnom zastupana dva tipa. Pri prvom prevladava meka faza, a pri drugom tvrda.

Prvi tip nazivamo i »klasičnom« ležajnom slitinom s visokim sadržajem kositra (često ga djelomično zamjenjuje olovo). Ovamo spadaju još kadmijeve slitine. Niskog su tališta, tvrdoće i tlačne čvrstoće, a dobre ugibljivosti. Toleriraju, dakle, i manje precizne montaže i obradu dijelova.

Drugi tip čine:

- bronce, npr. olovna bronca; prevladava, doduše, udio tvrde faze, ali s niskim mehaničkim svojstvima, talište je nisko;
- sivi i žilavi liv; odlikuju se **nosivošću,** ali zahtijevaju precizniju montažu. Upotrebljavaju se kao dvoslojne blazinice, tj. blazinica se sastoji od čvršćeg metala (čelik, sivi liv ili bronca) na koji je nalivena mekša antifrikcijska slitina.

Razmotrimo pobliže osnovne karakteristike tih slitina iz spomenute tablice!

11.451 Kositrena bijela kovina

Kositrena bijela kovina je u mnogočemu još nezamjenjiva, napose kod laganih, a vrlo brzohodnih ležaja. Strukturalno se sastoji od **primarnih** iglica Cu_3Sn ili Cu_6Sn_5, zatim od eutektikuma SnSb-mješanaca i Cu_6Sn_5-kristala, te od sekundarnih kockica mješanaca SbSn, s različitim količinskim udjelima tih faza. Većinom se uzima omjer 12% iglica, 20% kockica i 68% eutektikuma (koji daje ugibljivost). To je jeftinija i nešto tvrđa varijanta koja, dakle, omogućuje veći specifičan pritisak. Pri udarnom opterećenju sadržaj se eutektikuma povećava na 87%, na račun kockica koje se odbacuju. Specifičan pritisak mora, dakako, biti manji, pa i cijena je viša. U oba ova slučaja iglice stvaraju osnovni skelet, koji osigurava homogenost slitine, tj. čuva je od eventualnog raspada nekih faza (npr. kockica).

Općenito se još može reći da usitnjenje zrna poboljšava slitinu. Na to se pazi već pri ulijevanju, pa se uzima po mogućnosti kokilni kalup umjesto pješčanog. Nadalje, pri ulijevanju na podlogu drugog metala sloj se toliko brže ohladi koliko je tanji pa će i zrno biti sitnije i bolje. Poželjno je, dakle, da već konstruktor odredi tanku stijenku, to više jer nije poželjna ni obrada kod koje bi se skidali razmjerno debeli slojevi, tj. najvredniji vanjski dio (sitno zrno). Preciznim metodama rada treba postići lijevane slojeve od 2,5 do 4 mm debljine, time da se prilikom obrade skida oko 0,5 do 1 mm. Zadovoljava, dakle, sloj od 2—3 mm kao konačna mjera.

Toplinsko stezanje klasične bijele kovine (80—90% Sn) je malo pa to omogućava dobro prianjanje uz podlogu. Dobra toplinska vodljivost potpomaže odvođenje topline iz ležaja.

Nedostatak je slaba dinamička izdržljivost, napucavanje površine i slabo odolijevanje umoru pa se ta slitina mora često mijenjati. No ako je sloj dovoljno tanak, dinamička se opterećenja prenose na izdržljiviju podlogu. Tome »prijenosu« pogoduje svojstvo dobrog prianjanja. Za kositrene bijele kovine vrijedi dopušteni odnos $p \cdot v = 100$ kpm/cm² s, za dinamička opterećenja, odnosno $p \cdot v = 150$ kpm/cm²/s za statička.

11.452 Olovnate bijele kovine

One su po mehaničkim svojstvima bliske kositrenoj, ali se lakše deformiraju, što povećava ležajnu zračnost. Za proračun vrijedi $p \cdot v = 40$ kpm/cm²/s pri dinamičkim, odnosno $p \cdot v = 60$ kpm/cm²/s pri mirnom opterećenju.

Štednja nalaže da učešće kositra bude što manje. Ako nije neophodna klasična bijela kovina, nije opravdano uzimati iznad 16% Sn u svrhu poboljšanja svojstava pri lijevanju i veće antikorozivnosti.

Dodaci **kadmija** i **arsena,** te **nikla** i **telura** djeluju vrlo povoljno: kadmij povisuje čvrstoću i tvrdoću; arsen usitnjuje strukturu, nikal povećava žilavost i antikorozivnost, a telur sitnozrnatost i homogenost.

Alkalijski dodaci su »ratni materijal« za vagonske ležajeve itd. Ugraduju se bez mehaničke obrade i prepuštaju se samoudešavanju.

11.453 Kadmijeve slitine

Kadmijeve slitine vrlo su povoljne; po mehaničkim svojstvima i u pogledu otpora trošenju nadmašuju čak klasične bijele kovine. Slabija je antifrikcionost, tj. oko 50 do 70% od one kod normalnih bijelih kovina. U SAD se mnogo upotrebljava za avionske i automobilske konstrukcije. Glavni je nedostatak sama deficitarnost kadmija.

11.454 Aluminijske ležajne kovine

Obično se dijele u dvije skupine.

Prva obuhvaća ugibljive slitine otprilike sa 30% kositra i niskom solidus-temperaturom. Druge vrste (vidi tablicu) upotrebljavaju se za mazivne izvedbe, s odličnim mehaničkim svojstvima, ali s manjom antifrikcionošću (oko 70% od klasične). Mali je stupanj potrošnje, a visoka je dinamička izdržljivost i toplinska vodljivost. Jedna od glavnih vrlina je niska specifična težina.

Ležajne slitine Tablica 26.

Osnovni metal i udio u postotku		Glavni (i sporedni) dodaci i udjeli u postocima	Glavne karakteristike					
			Tlačna čvrstoća u kp/mm²	Stlačivost u %	Tvrdoća u kp/mm² pri			Interval skrućivanja u °C
					20°	50°	100°	
Sn 79—93	Kositr. bronca	3,5—13% Sb, 2—10% Cu (0—3% Pb)	11,5—17	35—38	14—30	12—23	8—14,5	240—400
Pb 75—94	Olovna bronca	5,0—18% Sb, 0—16% Sn 0,3% Cu (0,2—0,6% Ni) 0,3—2,25% Cd, 0,3—7% As	12,3—14,8	23—39	17—30	16—25	8,5—15	232—440
98—99	Olovna bronca	Ca, Ba, Na, Li, Mg, Al, Hg, K	9—12	12—29	20—36	16—32	6—21	240—450
Cd 98,25—99		1,0—1,6% Ni ili 0,5—10% Ag i 0,4—0,75 Cu			32		20	320—400
Zn(99,99%) 65—95		3,5—32% Al, 0,6—5% Cu (0,02—0,05% Mg)	70	40	95—130		25—50	380—410
Al 69—97		0,5—3,5% Ni, 6,5—30% Sn, 0,5—6% Sb, 3—5% Pb, 1,5—13,5% Si, 0,5—9,5% Cu (0,5—1,5% Mg)			21—95		15—70	228—750
Cu 84—88		5—10% Sn, 4—7% Zn, 2—20% Pb ili			60—95	44—80	42—70	850—1 004
		12—14% Sn ili			80—120		75—100	798—990
		10% Al, 3—4% Fe, do 4,5% Ni	120—130	30	140—200			iznad 1 000°
72—85		25% Pb ili			27—30			326—920
		5—22% Pb, 5—10% Sn			45—100			326—1 060
Sivi liv (perlitični)					170—220			1 150—1 300
Žilavi liv					190—240			1 150—1 250

11.455 Bakrene slitine i sivi liv

Bakrene slitine i sivi liv prikladni su za velika opterećenja. Antifrikcionost je slaba (za Cu-slitine oko 50%, za sivi liv oko 20%). Sivi liv je k tome slabo otporan trošenju i nije dovoljno antikorozivan. U pogledu dinamičke izdržljivosti imaju i jedni i drugi dobra svojstva. Pri sivom livu povoljna je pojava grafita, koji siže do površine. U obzir dolazi samo perlitičan sivi liv. Vidi tablicu 26.

11.456 Cinkove slitine

Upotrebljavaju se uglavnom zbog pomanjkanja kositra i bakra te olovnate bijele kovine. za proračun vrijedi još $p \cdot v = 100$ kpm/cm²/s. Antifrikcionost iznosi oko 60%, no mehanička svojstva su dobra, pa i otpornost protiv trošenja. U obzir dolazi samo rafinirani cink.

11.457 Olovna bronca

To je posebna slitina. Homogena može biti samo sa sadržajem do 36% Pb, no u praksi se i ne ide iznad 30% Pb. Omjer udjela je takav da postoji više kristala tvrđeg bakra nego mekšeg olova. Ta prevaga tvrdih kristala (što je slučaj i kod vrsta legiranih kositrom), daje toj slitini **veliku nosivost,** ali slabiju ugibljivost. Olovna faza je napose **meka** pa pri radu ležaja izlazi iz svojih mjesta, no ne otkida se, već se razmazuje preko tvrdih izbočina (kristala) i tako djeluje dvostruko antifrikcijski: stvaraju se i udubine za tekuće trenje, a podmazuju se i tvrde faze — izbočine. Ipak ukupna je antifrikcionost samo oko 45%. Ima, međutim, veliku otpornost trošenju (poput bakrenih slitina). Primjena olovne bronce za ležajeve ima stoga znatnu mogućnost da ošteti osovinu, pa se osovine izraduju od kaljenog čelika. Osim toga, slabija ugibljivost zahtijeva što savršeniju i tačniju obradu i što precizniju montažu. Dopušteni su, međutim, veći specifični pritisci, a povoljna je i dinamička izdržljivost, približno dva puta veća od one kod klasične slitine. Nedostaci su joj u sklonosti razlučivanju i visokoj likvidus-temperaturi, koja otežava lijevanje. To je osobito nepovoljno zbog otrovnosti olovnih para. Nadalje, slaba je strana još u maloj antikorozivnosti.

Uza sve to olovna se bronca sve više upotrebljava zbog dobre nosivosti i otpornosti trošenju.

Antifrikcijske slitine procjenjuju se ispitivanjem tvrdoće pri povišenim temperaturama, otprilike tj. pri 120°C. Ispituju se tlačna čvrstoća, stlačivost, žilavost i dinamička izdržljivost.

11.46 RIJETKI METALI

Samo 12 kemijskih elemenata nalazi se u većim količinama u zemljinoj kori, dok svi ostali elementi naše litosfere čine tek oko 0,5% njene težine. Među njima su i rijetki metali, koji u tehnici privlače sve veću pažnju. Evo njihova najkraćeg pregleda.

11.461 Litij (Li)

Plastičan je, mekši od olova, male gustoće, najlakši je od metala. Neobično je reaktivan. Na zraku se zagrijava do tališta i prekriva se oksidom i nitridom. Iznad 180°C se upali. Rastvara vodu, reagira s alkoholom, ali ne s eterom i ugljikovodicima. Spremati se mora bez pristupa vlage i zraka, npr. u petroleju. Na višoj temperaturi s vodikom spaja se u hidride, a reagira i sa N, C i Si. Spaja se i sa CO_2, O i S. Snizuje, na primjer, sadržaj kisika pri preradi bakra i legura srebra i nikla. Služi i za dezoksidaciju zajedno sa Ca. Lijevanom željezu poboljšava žitkost i profinjuje grafitizaciju jer mu oduzima plinove (veže ih na sebe).

Od slitina su najvažnije:

- olovna ležajna kovina otprilike sa 0,6% Ca, 0,6% Na i 0,04% Li
- »skleron«, tj. aluminijska slitina s oko 12% Zn, 4% Cu, 0,6% Mn, 0,5% Si, 0,4% Fe i do 0,1% Li.

Litij se dodaje pri žarenju i kaljenju, gdje se polagano isparuje vežući na sebe vlagu i kisik, što je napose poželjno pri cementaciji.

Litijev hidrid (LiH) je pogodan za proizvodnju vodika, a služi i za sintezu organskih spojeva.

11.462 Berilij (Be)

Krhak je i u najčišćem stanju pri sobnoj temperaturi. Po kemijskim svojstvima inače je sličan aluminiju. Na zraku se (u hladnom stanju) prekriva nevidljivim zaštitnim slojem oksida, koji ga štiti od djelovanja vode. Rastvara se u dušičnoj kiselini (samo vrućoj!), a u solnoj i sumpornoj pri svakoj temperaturi. Na višim temperaturama reagira sa S, N, C, CO_2 i s plinovitim amonijakom. Čisti berilij upotrebljava se samo za okanca Röntgenovih cijevi jer propušta rendgenske zrake oko 30 puta bolje nego obično staklo.

Od slitine značajnija je **berilijeva bronca,** tj. čisti Cu sa 1,9—2,2% Be te 0,5% Ni ili Co (za usitnjavanje zrna) i — prema ASTM — još 0,5% bakrenih nečistoća. Gnječenjem i termičkom obradom povećava joj se čvrstoća do 135 kp/mm² i tvrdoća do 365 brinela, ali pada rastežljivost (sa 49% na 2%). Visoka čvrstoća bronce (oko 90 kp/mm²) postiže se i s manje Be (do 0,25%). Ta je slitina dobre električne vodljivosti, kemijski stalna i nemagnetična. Upotrebljava se za izradu teško opterećenih ležaja, za ventilska vodila, za bušilice za naftu i u kemijskoj industriji.

Izvanredna svojstva pokazuje nikal sa 1,7 do 1,9% Be, nakon toplog i hladnog valjanja: čvrstoću do 183 kp/mm², rastežljivost 8% i udarnu žilavost 4,5 kp/mm².

Berilijev oksid služi kao visokootporan vatrostalan materijal za tiglje (taljike).

»Contracid« sa 60% Ni, 1,2% Be itd. je čvrsta, nemagnetična legura za finu mehaniku i urarstvo.

Berilij u malim količinama oplemenjuje Mg-legure, a Al-slitinama znatno povisuje žitkost i sposobnost lijevanja.

11.463 Cer (Ce)

Na suhu zraku prilično je otporan (stalan), a u vlazi ga rastvaraju već najslabije kiseline. Kao slitina s Fe i Zn upotrebljava se za kamenčiće upaljača (jako iskrenje). U slitinama povećava čvrstoću i tvrdoću u lijevanu, valjanu i u kovanu stanju. Usitnjuje zrno, povećava sposobnost lijevanja i poboljšava svojstva na višoj temperaturi pa služi pri izradi klipova avionskih motora. Na sličan način poboljšava Mg-slitine.

11.464 Cirkon (Zr)

Otkriven je 1789. god., a kao čist pojavljuje se od 1907. god. Čist Zr je vrlo plastičan gnječiv, dok onečišćen (s O, N, C itd.) postaje tvrd i krhak. Hladnom obradom povećava mu se čvrstoća sve do 95 kp/mm².

Kao sitan prah lako je upaljiv; u žaru se spaja sa C, Si, N, pa reducira okside i druge spojeve. U prahu naglo apsorbira vodik, a krut odolijeva i vrućim kiselinama i alkalnim rastopinama. Na površini se može električki oksidirati.

Kao prah upotrebljava se u fototehnici i pirotehnici (upaljivost) te u radiotehnici i za laboratorijske aparate. U Mg-slitinama služi za usitnjavanje zrna i povećanje čvrstoće na višoj temperaturi. U leguri znatno povećava čvrstoću i dezoksidira je. Nastoji se dodavati čelicima; zasad uspijeva kao sredstvo za dezoksidaciju i denitridaciju čelika.

11.465 Germanij (Ge)

Dobiva se kao nusproizvod u proizvodnji cinka. Krhak je i tvrd, a slabo vodi elektricitet. Na zraku je stalan, ali užaren oksidira. Ge-oksid kao dodatak staklu povisuje indeks loma na preko 2,0, a omogućuje i znatnu disperziju. Zbog skupoće nema veće primjene. Upotrebljava se u elektrotehnici za otpornike (zbog neovisnosti otpora o toplini), zatim u zubarstvu i draguljarstvu (uslijed niskog tališta, tj. 356°C, tvrdoće 205 vikersa i čvrstoće 43 kp/mm²). Kemijski je ta legura stalna. Kristali Ge upotrebljavaju se u radio-tehnici.

11.466 Vanadij (V)

Posve čist je plastičan, a onečišćen (sa H, C, N ili O) je krhak. U hladnu stanju je stalan, dok užaren oksidira i spaja se sa C, Si, N, upijajući i H. Ne reagira na H_2O, HCL i alkalijske rastopine, no osjetljiv je na toplu H_2SO_4. Sam se ne upotrebljava, već kao dodatak čelicima. Povećava im magnetičnost.

11.467 Molibden (Mo)

Čist Mo je vrlo plastičan pa se od njega može izvući žica ⌀ 0,05 mm, odnosno izvaljati lim od 0,01 mm. Hladnim očvršćivanjem može mu se čvrstoća dovesti na 255 kp/mm². Za zraku se ne mijenja, no užaren brzo oksidira, spajajući se sa O, N, Cl, F, Br. Prema vodiku je indiferentan.

Upotrebljava se u elektrotehnici za žice i trake te za žarulje, u elektro-pećima do 1 700°C u neutralnoj atmosferi i za stapanje tvrdih karbida (sinter-čelici). U kemijskoj industriji se od Mo prave armature i posude jer odolijeva HCL. Dobro se svaruje i obraduje.

Slitine Mo su otporne protiv kiselina, npr. Hastelloy, Illium (56% Ni, 4—5% Mo, 24% Cr, 3—8% Cu). Neke su prikladne za magnete, npr. Komol (12% Co, 17% Mo + + Fe). Sa srebrom daje dobre električne kontaktore.

Najvažnija mu je primjena u legiranju sa čelicima svih vrsta, radi usitnjavanja i bolje kaljivosti te povećanja čvrstoće i obradivosti u toplu stanju. U količini 2—4% povećava otpornost protiv kiselina, a u još većem postotku povisuje vatrostalnost. Alatnim čelicima povećava tvrdoću (otpornost protiv trošenja).

Lijevanim slitinama Mo povećava čvrstoću na vlak i savijanje; ujedno osigurava jednoličnu strukturu u debelim i nepravilnim odljevima.

11.468 Volfram (W)

Čist volfram je vrlo plastičan; izvlači se do ⌀ 0,01 mm. Fizikalna svojstva znatno mu ovise o mehaničkoj i o toplinskoj obradi. Hladnim gnječenjem povisuje mu se čvrstoća sve do 470 kp/mm². Žaren iznad 2 000°C rekristalizira i postaje krhak. Vrlo mu je visok modul elasticiteta pri istezanju. Na zraku je stalan, a suhi prah je zapaljiv (pirotehnika!). Na vodik ne reagira nikada, no užaren sa C, F, Br, Cl oksidira. Izvrsno odolijeva kiselinama, a s dušikom reagira tek kod 2 000°C (žarne niti). Najviše se primjenjuje u elektrotehnici (izrada žarulja), nadalje za izradu posuda za taljenje itd. Legura »stelit« (Co + + Cr + W) upotrebljava se za brzorezne čelike te za dijelove otporne pri visokim temperaturama. Postoje još slitine: platinoid (60% Cu, 24% Zn, 14% Ni, 2% W) i Parova bronca (60% Ni, 20% Cr, 8% Cu, 3% W).

W je najvažnija sastojina sinternih metala jer se lako dade prirediti u obliku praška. Alatnim čelicima W povisuje tvrdoću (i na višim temperaturama) te otpornost protiv trošenja. Čelik sa 5% W je najtvrđi alatni čelik koji se može postići kaljenjem. Slični su W-čelici za magnete. U brzoreznim čelicima ima 10—22% W. U SAD se stavlja do 2%, ali se zato Mo povisuje i na 8%.

11.469 Niob (Nb)

Niob je metal srednje visoke tvrdoće, sive boje. Na poliranim površinama je blještavo bijel. Prema zraku je otporan, čak ni u obliku ostružaka ne oksidira potpuno. U struji klora izgara intenzivno. Sa sumporom se spaja neposredno ako je zagrijan. Sa željezom daje tvrde rastvore. U kiselinama i lužinama nije rastvorljiv, no u topljenim lužinama rastapa se (na crvenom usijanju), stvarajući $NbCl_5$.

U prirodi se niob susreće samo kao spoj, npr. $Fe(NbO_3)_2$. U zemljinoj kori ima ga $3{,}2 \cdot 10^{-5}$%.

Legura nioba sa željezom (feroniobij) upotrebljava se u proizvodnji kvalitetnih čelika. Tamo ga nalazimo u obliku karbida, a djelomično kao tvrd rastvor u feritu. Za količinsko određivanje postoji veći broj prikladnih metoda.

11.5 STANDARDIZACIJA I TABLICE

11.51 STANDARDIZACIJA METALA

11.511 Suština

Današnji stupanj razvitka metalurgije, celulozne industrije, šumarstva itd. omogućuje već proizvodnju najrazličitijih masa za tehničku preradu. Neočekivano se proširio asortiman ne samo čelika i obojenih metala već i plastičnih masa, drvnih sirovina itd. Poznato je da budući razvoj sirovinske baze obećava još mnogo više pronalazaka, ne samo u pogledu strukture već i u pogledu oblika poluproizvoda, dimenzija i primopredajnih uvjeta. Iskustvo dokazuje da je već danas moguće ostvariti bezbroj varijanata, a još se dalekosežnije mogućnosti obećavaju našoj sutrašnjici.

Bilo bi, međutim, posve nerazumno iskorištavati sve te mogućnosti jer bismo umjesto blagostanja prouzročili posvemašnji zastoj. Ostvarivanjem suviše velike različitosti u građevnom materijalu izazvao bi se ogroman teret srodnih djelatnosti, ne samo kod proizvođača sirovine već i kod preradivača, jer bi bio potreban sve veći izbor alata i laboratorijske opreme, a da se i ne govori o pretjeranom asortimanu skladišnih zaliha koje uzrokuju prvostepene teškoće financijskim organima u našim radnim organizacijama. Da se vidi koliko je malen broj onih materijala koji su prihvaćeni za proizvodnju, dovoljno je pogledati u neki laboratorij, koji nakon dugotrajnih istraživanja i uspoređivanja između mnogih mogućih varijanata odabire samo one rijetke primjerke koji pružaju zaista optimalan rezultat u pogledu izvodljivosti, primjene, kvalitete, cijene, zamjenljivosti i još niza zahtijevanih svojstava. Zakon najveće povoljnosti je presudan: traži se redovito srednja (dakle ne najviša) vrijednost, kao prosjek najpovoljnijih spomenutih svojstava, no sva ona ipak moraju postojati.

Da bi se zadovoljio taj zakon optimuma (tj. najveće povoljnosti), potreban je oprezan dogovor između proizvođača i potrošača: kakvu robu ostvarivati i primjenjivati, u kojoj kvaliteti, obliku i dimenzijama, uz koje primopredajne uvjete i s kojim oznakama, a da potrošač bude siguran da će takav materijal biti u dovoljnoj količini proizveden, po cijeni pristupačan i u pogledu kvalitete zajamčen (testiran).

Takav dogovor zove se standard. Ako je javno objavljen, kao **savezni** standard, može se na nj pozivati svaka osoba, a ako je **interne** prirode, standard vrijedi samo za korisnika koji ga je učinio službenim za svoju upotrebu (tvornica, udruženje, kombinat).

11.512 Karakteristike standarda materijala

Mnoštvo pojedinosti koje utječu na primjenljivost nekog materijala ne može se regulirati samo jednim standardom jer treba posebice ograničiti mnoge pojedinosti. Tako ćemo naići na tri-četiri standarda za isti detalj, ne samo u našim već i u inozemnim standardima:

- standard kvalitete, tj. strukture materijala
- „ poluproizvoda (oblik i dimenzije)
- „ primopredajnih uvjeta
- „ donošenja odgovarajuće svjedodžbe za dotični materijal.

U našim JUS standardima ta je »rascjepkanost« ublažena, tj. oni su u neku ruku cjelovitiji od inozemnih.

Iz tih razloga bili bi potrebni posebni sistemi označavanja.*

11.513 Kriteriji izbora

Jedan od najvažnijih zadataka standardizacije materijala je određivanje najnužnijeg izbora za odgovarajuću metalopreradivačku djelatnost. Da bi taj izbor rezultirao dovoljno malom raznolikošću (asortimanom) skladišnih zaliha, tj. dovoljno rentabilnim materijalnim poslovanjem neke tvornice, treba odabirati (osim kvalitete koja zadovoljava) još:

- dovoljno kurentne vrste da bi se mogle naći u dovoljno malim količinama u trgovačkoj mreži, kooperaciji itd.
- dovoljno afirmirane kvalitete za koje nisu potrebne posebne mjere provjeravanja i praćenja
- dovoljno univerzalne da se mogu primijeniti u što više različitih slučajeva jer se upravo na taj način najuspješnije obara različitost materijala.

U tu svrhu treba u prikazima standardnih kvaliteta posebno upozoravati na one metale koji imaju te karakteristike, napose posljednje dvije.

11.514 Primjer tipizacije alatnih čelika

Alatni čelik je primaran faktor u preradi sirovine jer direktno uvjetuje proizvodnju pa kao takav uzrokuje mnoge probleme u metalopreradivačkoj industriji.

Za alatne čelike ne mogu se jednoznačno definirati zahtjevi u pogledu izbora, već se mogu navesti samo neki opći podaci: tvrdoća, obradivost, žilavost, sigurnost od naprslina itd. Ta se svojstva teško mogu mjeriti (soim tvrdoće). Kako znamo, ovdje nije dovoljno uvažiti isključivo kemijski sastav pa ih je teže standardizirati (odnosno tipizirati). Ima ih ogroman broj, s najrazličitijim oznakama po standardima, udruženjima, firmama itd. te bi ih trebalo što prije svesti na minimalan izbor (tipizirati) da bi se pojednostavnila toplinska obrada, smanjili proizvodni troškovi i povećala količina zadržanih vrsta.

Neki uvaženi stručnjaci misle da bi se mogla odrediti skupina od 12 alatnih čelika koji bi bili u takvom međusobnom odnosu da karakteristike nekog od njih s karakteristikama susjednih čine rastući ili padajući niz (Lit. 8). Ako se jedna vrsta zatim ispita, bit će moguće ocijeniti i kvalitetu svakog od alatnih čelika pa će predložena skupina činiti zaokruženu cjelinu, kojom se mogu ispuniti gotovo svi zahtjevi, propisani za alatne čelike.

Odaberimo kao najuniverzalniji alatni čelik onaj sa otprilike 1,00% C, konkretno Č.1940, koji se smatra tvrdim i žilavim. Stavimo ga u »centar pažnje« i razmotrimo svojstva s određenim usmjerenjem ①.

Prema **gore** zamislimo usmjereno povećanje otpornosti na **glođenje** (trošenje, habanje), a prema **dolje** ono suprotno svojstvo, tj. povećanje **žilavosti.** U vodoravnom smjeru uzmimo **lijevu** stranu kao otpornost **protiv deformacije** (tj. sigurnost od naprslina i minimalne promjene dimenzija pri kaljenju), a **desno** povećanje stabilnosti **tvrdoće** na visokim temperaturama (sve do crvenog usijanja).

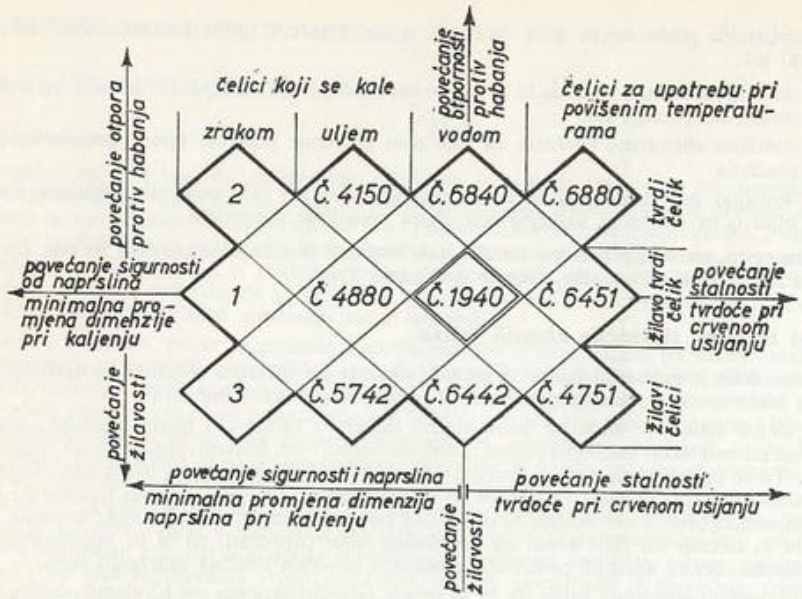
Polazeći od Č.1940 (prije adaptirana oznaka OC 100), možemo čelike razvrstati prema navedenim svojstvima u sva četiri smjera te na taj način odabrati još po nekoliko predstavnika s izrazitijim dotičnim karakteristikama. Time dobivamo »mrežu« alatnih čelika prema ① s podacima kemijskog sastava prema tablici u slici.

Pratimo dobivene mogućnosti!

Ako su nam potrebni alati otporniji protiv glođenja, tj. treba da imaju veću tvrdoću pri obradi nego Č.1940, odabrat ćemo Č.6840 (prije OW 1), dok bi žilaviji čelik bio (idući prema dolje) — Č.6442 (prije označen OSIKRO 1), npr. za pneumatske alate.

Analogno, ako se traži čelik s minimalnim deformacijama pri kaljenju, kod kojeg se, dakle, ne smiju pojaviti naprsline, uzet ćemo Č.4840 (tzv. MERILO SPEC.). To će odgovarati i za alate koji se nakon završne toplinske obrade ne smiju brusiti ili drukčije mehanički obrađivati. Takvi se čelici, dakako, ne kale u vodi, već u ulju ili, u krajnjem slučaju, čak i na zraku. (Na slici je to prikazano približnim razgraničenjem tih vrsta.) Naprotiv, ako se poseban zahtjev stavlja na stabilnost tvrdih čelika pri temperaturama do crvenog usijanja, odabrat ćemo jedan čelik s desne strane od Č.1940. Ovamo spada rezni alat, kalupi za kovanje ili vruće prešanje pa se kao povoljan čelik može uzeti Č.6451 (prije UTOP 2).

* Vidi članak: *Rješavanje problematike naših skladišta*, Strojarstvo br. 5—8/1964, Zagreb



Oznaka		Približan kemijski sastav u %							
Ranija adaptacija	JUS	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Ma	V
OC 100	Č. 1940	1.00	0.20	0.20	–	–	–	–	–
OSIKRO 1	Č. 6442	0.35	1.00	0.40	1.00	–	2.00	–	–
OW 1	Č. 6840	1.20	0.30	0.30	–	–	3.50	–	–
Merilo spec.	Č. 4840	1.40	0.25	2.00	1.60	–	–	–	0.20
Utop ex. 2	Č. 5742	0.55	0.25	0.35	1.00	1.75	–	0.50	0.15
OCR 12	Č. 4150	2.00	0.25	0.25	12.00	–	–	–	0.10
1	1	0.95	0.20	0.70	5.00	–	–	1.00	0.20
3	3	0.70	0.30	2.00	1.00	–	–	1.35	–
2	2	1.50	0.30	0.30	12.00	–	–	0.80	0.20
Utop. 2	Č.6451	0.35	0.30	0.30	2.50	–	9.00	–	0.40
Utop. Mo 1	Č.4751	0.40	1.10	0.35	5.00	–	–	1.30	0.40
BRV	Č.6880	0.75	0.25	0.25	4.00	–	18.00	0.80	1.00

① Tipizacija alatnih čelika

Često se zahtijeva da čelik ima istodobno i **dva** bolja svojstva od nekog ranije fiksiranog, npr. visoku otpornost na trošenje i još sigurnost pri kaljenju. Tada treba od Č.1940 ići **koso,** tj. ulijevo prema gore, pa se zaustavimo na Č.4150 (prije nazvan OCR 12). Analogno bi se našli čelici za druge odabrane kombinacije.

Konačan izbor može se temeljiti na vjerojatnosti da bismo sa 12 vrsta čelika uglavnom zadovoljili sve potrebe. (U gornjoj su slici neke rubrike ispunjene samo brojevima. To bi načelno vrijedilo za one čelike koji se eventualno još ne proizvode.)

Na sličan način proveli bismo tipizaciju i kod drugih grupa čelika. Tako bismo, na primjer, konstruktivne čelike mogli svesti otprilike na dvije kvalitete (npr. Č.0345 V i na Č.0562), lijevane strukture na žilavi liv, a nerđajuće čelike na možda dvije kvalitete (jednu s vrlo niskim sadržajem ugljika, recimo 0,02%, te jednu između čvršćih vrsta, eventualno stabiliziranih titanom, odnosno niobom, otprilike 0,1% C).

Time bismo izvanredno ojačali društvenu ekonomiku, a u pojedinim prerađivačkim poduzećima osujetili bismo mnoge proizvodne zastoje.

11.515 Pregled JUS standarda o metalima

METALURGIJA I TEHNOLOGIJA PRERADE METALA

Glavna grupa C.A: Osnovni i opći standardi za granu metalurgije i tehnologije prerade metala

JUS

C.A1.100 1965. Metode ispitivanja kemijskog sastava olova i olovnih legura
Određivanje nečistoće u rafiniranom olovu i u bloku

C.A1.550 1956. Zaštita od korozije. Ispitivanje galvanskih prevlaka.
Određivanje debljine prevlaka po metodi s mlazom

C.A2.051 1959. Ispitivanja prokaljivosti čelika (po Jominyju)

C.A4.002 1954. Mehanička ispitivanja metala
Ispitivanje zatezanjem

C.A4.003 1962. Ispitivanje tvrdoće

C.A4.004 1954. Ispitivanje žilavosti po Charpyju

C.A4.005 1962. Ispitivanje savijanjem

C.A4.006 1954. Ispitivanje sabijanjem

C.A4.007 1962. Ispitivanje cijevi spljoštavanjem

C.A4.008 1958. Ispitivanje cijevi proširivanjem s cilindričnim utiskivačem

C.A4.009 1962. Ispitivanje cijevi porubljivanjem

C.A4.010 1962. Ispitivanje cijevi proširivanjem s koničnim utiskivačem

C.A4.011 1956. Ispitivanje cijevi gnječenjem

C.A4.012 1958. Uzimanje uzoraka za ispitivanje sivog liva zatezanjem i savijanjem

C.A4.013 1958. Ispitivanje sivog liva zatezanjem

C.A4.014 1958. Ispitivanje sivog liva savijanjem

C.A4.015 Ispitivanje kovkastog liva zatezanjem
1958.

C.A4.016 Tehnološko ispitivanje žica uvijanjem (torzijom)
1962.

C.A4.018 Ispitivanje žica izmjeničnim previjanjem
1962.

C.A4.019 Ispitivanje žica namotavanjem u zavojnicu
1962.

C.A4.020 Ispitivanje limova i traka debljine ispod 3 mm izmjeničnim previjanjem
1962.

C.A4.021 Ispitivanje limova i traka izvlačenjem
1962.

C.A4.022 Ispitivanje čeličnih cijevi proširivanjem prstena
1965.

C.A4.023 Ispitivanje čeličnih cijevi razvlačenjem prstena
1965.

C.A4.030 Ispitivanje tvrdoće čelika po Vickersu
1962.

C.A4.031 Ispitivanje tvrdoće čelika po Rockwellu
1962.

C.A4.103 Laki metali i njihove legure
1965. Ispitivanje tvrdoće po Brinellu

C.A4.104 Ispitivanje tvrdoće po Vickersu
1965.

C.A4.128 Bakar i bakrene legure. Ispitivanje cijevi proširivanjem koničnim utiskivačem.
1965.

C.A4.153 Olovo i olovne legure. Ispitivanje tvrdoće po Brinellu.
1965.

OSNOVNI PROIZVODI CRNE METALURGIJE

JUS

C.B0.002 Označavanje vrste čelika
1955.

C.B0.003 Označavanje čelika bojom u skladištima
1957.

C.B0.500 Ugljični konstruktivni čelici, obični s garantiranim mehaničkim svojstvima.
1960. Tehnički propisi za izradu i isporuku.

C.B0.501 Čelici za noseće konstrukcije. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku
1962.

C.B0.505 Čelici za automate. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku
1962.

C.B0.506 Čelici za zakovice. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku
1963.

C.B0.551 Čelici za opruge
1960.

C.B2.020 Ugljični konstruktivni čelici, obični s garantiranim kemijskim sastavom
1958. Tehnički propisi za izradu i isporuku

C.B2.021 Čelični polufabrikati valjani
1958.

C.B3.021 Okrugli čelici, vruće valjani. Oblik i mjere

C.B3.024 Kvadratni čelici, vruće valjani. Oblik i mjere
1962.

C.B3.025 Plosnati čelici, vruće valjani. Oblik i mjere
1962.

C.B3.026 Šesterobridni čelici, vruće valjani. Oblik i mjere
1962.

C.B3.030 Široki plosnati čelici, vruće valjani. Oblik i mjere
1962.

C.B3.101 Čelični istokračni kutnici sa zaobljenim rubovima, vruće valjani. Oblik i
1962. mjere

C.B3.111 Čelični raznostrani kutnici sa zaobljenim rubovima, vruće valjani. Oblik i
1962. mjere

C.B3.131 Čelični I-nosači, vruće valjani. Oblik i mjere
1962.

C.B3.141 Čelični U-nosači, vruće valjani. Oblik i mjere
1962.

C.B3.402 Vučeni čelici, tehnički propisi za izradu i isporuku
1955.

C.B3.411 Okrugli čelici vučeni u tolerancijskom polju h 11. Oblik i mjere
1960.

C.B3.412 Okrugli čelici vučeni u tolerancijskom polju h 9. Oblik i mjere
1960.

C.B3.431 Plosnati čelici vučeni. Oblik i mjere
1960.

C.B3.441 Šesterobridni čelici vučeni. Oblik i mjere
1960.

C.B3.450 Čelik za klinove, vučen. Mjere i tolerancije
1957.

C.B3.521 Hladno valjane čelične trake od niskougljičnog čelika
1962.

C.B3.522 Hladno valjane čelične trake za toplinsku obradu i specijalnu primjenu
1953.

C.B3.550 Trakasti (obručni) čelici vruće valjani. Oblik i mjere
1960.

C.B4.014 Kotlovski limovi od ugljičnog čelika
1955.

C.B4.016 Tanki limovi od niskougljičnog čelika. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku
1962.

C.B4.017 Tanki limovi od običnih ugljičnih konstruktivnih čelika, s garantiranim me-
1962. haničkim svojstvima. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku

C.B4.030 1964. Čelični lim za posude za tekuće plinove. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku

C.B4.081 1956. Pocinčani limovi (C.B4.110). Čelični limovi debeli. Dimenzije i tolerancije

C.B4.111 1956. Čelični limovi srednji. Dimenzije i tolerancije

C.B4.112 1962. Čelični limovi tanki, sa širim tolerancijama debljine. Oblik i mjere

C.B4.113 1962. Čelični limovi tanki s užim tolerancijama debljine. Oblik i mjere

C.B5.020 1964. Čelične cijevi bez šava za cijevne vodove, posuđe i aparate, bez propisanih mehaničkih osobina. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku

C.B5.021 1964. Čelične cijevi bez šava s propisanim mehaničkim osobinama, za cijevne vodove, posuđe i aparate. Tehnički propisi za izradu i isporuku

C.B5.022 1965. Čelične cijevi bez šava s garantiranim mehaničkim svojstvima na povišenim temperaturama. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku

C.B5.030 1963. Čelične cijevi bez šava, hladno vučene ili hladno valjane bez garantiranih mehaničkih svojstava. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku

C.B5.122 1957. Cijevi od Č.0206 bez šava, glatke. Izbor standardne serije za nazivne pritiske od 1 do 100

C.B5.123 1957. Cijevi od Č.0406 bez šava, glatke. Izbor standardne serije za nazivne pritiske i do 100

C.B5.124 1957. Cijevi od Č.0506 bez šava, glatke. Izbor standardne serije za nazivne pritiske

C.B5.212 1952. Zavarene čelične cijevi za namještaj

C.B5.221 1962. Čelične cijevi bez šava, glatke. Standardna serija. Dimenzije i tolerancije

C.B5.222 1957. Cijevi od Č.0206 bez šava za cijevni navoj. Standardna serija za nazivne pritiske 1 do 100

C.B5.225 1957. Cijevi od Č.0003 bez šava ili sa šavom za cijevni navoj. Standardne serije. Dimenzije i tolerancije

C.B5.230 1963. Čelične cijevi bez šava, hladno vučene ili hladno valjane sa normalnim tolerancijama mjera. Oblik i mjere

C.B6.010 1956. Vučena čelična žica obična. Tehnički propisi za izradu i isporuku

C.B6.011 1956. Vučena žica od niskougljičnog čelika, specijalna. Tehnički propisi za izradu i isporuku

C.B6.012 1956. Vučena čelična žica za termičku obradu i specijalnu primjenu. Okvirni tehnički propisi za izradu i isporuku

C.B6.050 1959. Čelična žica za željeznička signalno-sigurnosna postrojenja. Tehnički propisi za izradu i isporuku

C.B6.110 1955. Vučena čelična žica, normalne dimenzije i tolerancije

C.B6.112 1955. Čelična žica za rascjepke, poluokrugla

C.B6.113 1955. Knjigovežačka žica

C.B9.020 1957. Čelici za cementaciju. Tehnički propisi za izradu i isporuku

C.B9.021 1957. Čelici za poboljšavanje. Tehnički propisi za izradu i isporuku

OSNOVNI PROIZVODI OD LAKIH METALA I NJIHOVIH LEGURA

JUS

C.C0.001 1959. Aluminijske legure. Definicija pojmova, nazivi i klasifikacija

C.C0.002 1959. Označavanje

C.C0.003 1964. Oznake stanja proizvoda od aluminija i aluminijskih slitina

C.C1.081 1965. Aluminij u prahu i granulama. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku

C.C1.100 1959. Metalurški aluminij. Kemijski sastav

C.C1.101 1959. Aluminij i aluminijske slitine za dodavanje. Kemijski sastav

C.C2.100 1959. Aluminij i aluminijske legure za gnječenje. Kemijski sastav, oblici izrade i smjernice za upotrebu

C.C2.300 1959. Aluminijske slitine za lijevanje. Kemijski sastav, mehaničke osobine i smjernice za upotrebu

C.C2.301 1963. Aluminij i aluminijske slitine, blokovi

C.C3.019 1963. Toplo valjana i prešana žica od aluminija i aluminijskih legura. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku

C.C3.020 1959. Profili, šipke i žice od aluminija. Tehnički propisi za izradu i isporuku

C.C3.030 1963. Okrugle šipke i žica od aluminija prešana. Oblik i mjere

C.C3.031 1963. Okrugle šipke i žica od aluminija vučena. Oblik i mjere

C.C3.032 1964. Šipke i žica od aluminija i aluminijskih slitina za zakovice. Vučene šipke. Oblik i mjere

C.C3.034 1963. Kvadratne šipke i žica od aluminija prešana. Oblik i mjere

C.C3.036 1963. Šesterobridne šipke i žice od aluminija. Prešane. Oblik i mjere

C.C3.120 1959. Profili, šipke i žica od aluminijskih slitina. Tehnički propisi za izradu i isporuku

C.C3.130 1963. Okrugle šipke i žica od aluminijskih slitina. Prešane. Oblik i mjere

C.C3.131 Vučene. Oblik i mjere
1963.

C.C3.134 Kvadratne šipke i žica od aluminijskih slitina
1963. — Prešane. Oblik i mjere

C.C3.135 — Vučene. Oblik i mjere
1963.

C.C3.202 Istokračni kutnici od aluminija i aluminijskih legura — prešani. Oblik i
1963. mjere

C.C3.203 U-profili od aluminija i aluminijskih slitina — prešani. Oblik i mjere
1963.

C.C3.204 T-profili od aluminija i aluminijskih slitina — prešani. Oblik i mjere
1963.

C.C3.205 I-profili od aluminija i aluminijskih slitina — prešani. Oblik i mjere
1963.

C.C4.019 Toplo valjani limovi od aluminijskih slitina. Tehnički uvjeti za izradu i
1963. isporuku

C.C4.020 Limovi i trake od aluminija. Tehnički propisi za izradu i isporuku
1959.

C.C4.025 Aluminijske folije. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku
1963.

C.C4.030 Aluminijski listići. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku
1963.

C.C4.050 Hladno valjani limovi od aluminija. Oblik i mjere
1963.

C.C4.051 Hladno valjane trake i pojasi od aluminija. Oblik i mjere
1963.

C.C4.060 Rebrasti i gusjeničasti limovi od aluminija i aluminijskih slitina. Tehnički
1965. uvjeti za izradu i isporuku

C.C4.061 Valoviti krovni limovi od aluminija i aluminijskih slitina. Tehnički uvjeti
1965. za izradu i isporuku

C.C4.062 Valoviti ukrasni limovi od aluminija i aluminijskih slitina. Tehnički uvjeti
1965. za izradu i isporuku

C.C4.120 Limovi i trake od aluminijskih slitina. Tehnički propisi za izradu i isporuku
1959.

C.C4.150 Hladno valjani limovi od aluminijskih slitina. Oblik i mjere
1963.

C.C4.151 Hladno valjane trake i pojasi od aluminijskih legura. Oblik i mjere
1963.

C.C5.020 Cijevi od aluminija. Tehnički propisi za izradu i isporuku
1959.

C.C5.120 Cijevi od aluminijskih slitina. Tehnički propisi za izradu i isporuku
1959.

OSNOVNI PROIZVODI OD BAKRA I DRUGIH TEŠKOTOPLJIVIH METALA I NJIHOVIH SLITINA

JUS

C.D0.001 Bakrene legure. Definicije pojmova, naziv i klasifikacija
1956.

C.D0.002 Bakrene slitine. Označavanje
1965.

C.D1.002 Bakar — klasifikacija
1955.

C.D1.003 Katodni bakar — tehnički uvjeti za izradu i isporuku
1965.

C.D1.004 Elektrolitički bakar u obliku valjaoničkih gredica, ploča, blokova, trupaca i
1965. ingota u obliku šipki i poluga. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku

C.D2.100 Bakrene slitine za gnječenje. Mjed. Kemijski sastav, oblici izrade i smjernice
1956. za upotrebu

C.D2.101 Specijalna mjed. Kemijski sastav i smjernice za upotrebu
1959.

C.D2.102 Kositrena bronca. Kemijski sastav i smjernice za upotrebu
1959.

C.D2.103 Crveni metal. Kemijski sastav i smjernice za upotrebu
1959.

C.D2.104 Aluminijska bronca. Kemijski sastav i smjernice za upotrebu
1959.

C.D2.106 Silicijeva bronca. Kemijski sastav i smjernice za upotrebu
1959.

C.D2.107 Novo srebro. Kemijski sastav, smjernice za upotrebu
1959.

C.D2.300 Bakrene legure za lijevanje. Mjed. Kemijski sastav, mehanička svojstva i
1957. smjernice za upotrebu

C.D2.301 Specijalna mjed. Kemijski sastav, mehanička svojstva i smjernice za upotrebu
1957.

C.D2.302 Kositrena bronca. Kemijski sastav, mehanička svojstva i smjernice za upo-
1958. trebu

C.D2.303 Aluminijska bronca. Kemijski sastav, mehanička svojstva i smjernice za
1957. upotrebu

C.D2.304 Crveni liv. Kemijski sastav, mehanička svojstva i smjernice za upotrebu
1957.

C.D2.305 Olovna i kositreno-olovna bronca. Kemijski sastav, mehanička svojstva i
1957. smjernice za upotrebu

C.D2.306 Bakrene slitine za lemljenje. Mjedeni lem. Kemijski sastav i smjernice za
1957. upotrebu

C.D2.307 Srebrni lem. Kemijski sastav i smjernice za upotrebu
1957.

C.D3.120 Mjedene šipke i profili. Tehnički propisi za izradu i isporuku
1956.

C.D3.500 Okrugao bakar, vučen. Dimenzije i tolerancije
1955.

C.D3.520 Okrugla mjed vučena. Dimenzije i tolerancije
1956.

C.D3.522 Okrugla mjed prešana. Dimenzije i tolerancije
1956.

C.D3.523 Plosnata mjed s oštrim rubovima, vučeni. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D3.524 Plosnata mjed sa zaobljenim rubovima, prešana. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D3.525 Kvadratna mjed, vučena. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D3.526 Kvadratna mjed sa zaobljenim rubovima, prešana. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D3.528 Šesterobridna mjed sa zaobljenim rubovima prešana. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D3.529 Istostranični mjedeni kutnici sa zaobljenim rubovima prešani. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D3.530 Raznostrani mjedeni kutnici sa zaobljenim rubovima, prešani, odnos krakova $a : b = 2 : 3$. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D3.531 Raznostrani mjedeni kutnici sa zaobljenim rubovima, prešani, odnos krakova $a : b = 1 : 2$. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D3.700 Bakrena vrpca, hladno valjana. Dimenzije i tolerancije 1955.

C.D4.020 Bakrene ploče, limovi i vrpce. Tehnički propisi za izradu i isporuku 1956.

C.D4.120 Mjedene ploče, lamele, limovi i vrpce. Tehnički propisi za izradu i isporuku 1956.

C.D4.500 Bakreni lim, hladno valjan. Dimenzije i tolerancije 1955.

C.D4.520 Mjedeni lim, hladno valjan. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D4.521 Mjedena vrpca, hladno valjana. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D5.020 Bakrene cijevi vučene. Tehnički propisi za izradu i isporuku 1956.

C.D5.120 Mjedene cijevi, vučene. Tehnički propisi za izradu i isporuku 1956.

C.D5.500 Bakrena cijev vučena. Dimenzije i tolerancije 1955.

C.D5.520 Okrugla mjedena cijev, vučena. Dimenzije i tolerancije 1956.

C.D6.020 Okrugla bakrena žica vučena za opće svrhe. Tehnički propisi za izradu i isporuku 1956.

C.D6.120 Okrugla mjedena žica za opće svrhe. Tehnički propisi za izradu i isporuku 1956.

C.D6.500 Okrugla bakrena žica vučena. Dimenzije i tolerancije 1955.

C.D6.520 Okrugla mjedena žica, vučena. Dimenzije i tolerancije 1956.

PROIZVODI CINKA, OLOVA I DRUGIH LAKOTOPLJIVIH METALA I NJIHOVIH SLITINA

JUS

C.E0.001 Slitine lakotopljivih teških metala. Definicije pojmova, naziva i klasifikacija 1963.

C.E1.002 Cink 1957.

C.E1.035 Slitine olova i antimona. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku 1963.

C.E1.040 Olovo i olovne slitine za plašteve električnih kablova 1963.

C.E1.041 Slitine za lemljenje. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku 1963.

C.E1.050 Cinčane slitine za lijevanje 1963.

C.E1.080 Cink u prahu. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku 1965.

C.E1.100 Ležišne slitine na bazi kositra ili olova. Sastav, svojstva i primjena 1963.

C.E1.200 Rafinirani antimon u bloku 1963.

C.E1.300 Kadmij u bloku i drugim sirovim oblicima 1963.

C.E4.020 Cink — lim 1960.

C.E4.030 Olovni lim. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku 1963.

C.E4.041 Olovne odvodne cijevi. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku 1963.

C.E6.050 Žica od olova i olovnih slitina. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku 1965.

11.516 Tipizirane kvalitete

Kao primjer tipizacije čelika u republičkom (ili čak saveznom) opsegu može se preporučiti izbor prema tablici 8. i 9.

11.52 TABLIČNE VRIJEDNOSTI SVOJSTAVA METALA

Važnije fizikalne veličine kod metala

Tablica 1.

Naziv	Simbol	Modul elastičnosti E kp/mm²	Modul smika G kp/mm²	Linearni koeficijent α topl. rastezanja 10^{-6}/°C	Specifičan električki otpor ρ kod 20°C Ωmm²/m	Specifična vodljivost kod $\varkappa$ 20°C Sm/mm²	Toplinska vodljivost λ cal/cms°C	Specifična toplina C_p kod 20°C cal/g°C	Toplina taljenja cal/g
Aluminij	Al	7 220	2 720	23,9	0,026 6	37,6	0,504	0,214	92,7
Antimon	Sb	5 600	2 000	10,5	0,39	2,56	0,053 8	0,049 6	59,0
Arsen	As	—	—	—	0,35	2,86	—	0,078 6	—
Bakar	Cu	12 500	4 640	16,2	0,016 7	60	0,920	0,091 5	48,8
Barij	Ba	980	500	≈ 19	—	—	—	0,068	13,3
Berilij	Be	29 280	13 500	10,6	0,059	16,9	0,38	0,418	260
Bizmut	Bi	3 480	1 310	12,4	1,068	0,94	0,017 7	0,029 5	12,4
Cezij	Cs	175	—	97	0,188 3	5,6	—	0,052	376
Cink	Zn	9 400	3 790	29,8	0,059 2	16,9	0,265 3	0,092	26,6
Cirkon	Zr	6 970	2 540	10	0,41	2,44	—	0,066	—
Galij	Ga	1 000	430	58	0,534	1,87	—	0,090	19,2
Germanij	Ge	8 000	3 000	≈ 6	≈ 890	0,001 1	—	0,073	101
Hafnij	Hf	8 500	3 100	≈ 9	—	—	—	0,03	—
Indij	In	1 070	380	44	0,083 7	12,0	0,057	0,057	6,8
Iridij	Ir	53 830	21 400	6,8	0,053	18,9	0,14	0,031	—
Kadmij	Cd	6 350	2 460	30,8	0,068 3	14,6	0,22	0,055	13,6
Kalcij	Ca	2 000	750	22	0,034 3	29,2	0,3	0,155	51,7
Kalij	K	360	130	84	0,061 5	15,9	0,234	0,177	6,14
Kobalt	Co	21 280	7 630	12,3	0,062 4	16,1	0,165	0,093	61,6
Kositar	Sn	5 500	2 060	20,5	0,115	8,7	0,152 8	0,054 1	14,02
Krom	Cr	19 000	7 300	6,2	0,13	6,7	0,16	0,105	75,6
Lantan	La	3 820	1 500	≈ 13	0,59	1,69	—	0,045	—
Litij	Li	1 170	430	58	0,085 5	11,8	0,17	0,81	99
Magnezij	Mg	4 515	1 770	24,5	0,044 6	22,2	0,376	0,243	82,2
Mangan	Mn	20 160	7 800	22	1,85	0,54	—	0,115	59,3
Molibden	Mo	33 630	12 200	2,7	0,051 7	19,4	0,35	0,060	70
Natrij	Na	910	340	72	0,042	23,8	0,321	0,028 8	27,4
Nikal	Ni	19 700	7 500	13,3	0,068 4	14,6	0,22	0,106 5	72,1
Niob	Nb	16 000	6 000	7,0	0,131	7,7	—	0,064 5	—
Olovo	Pb	1 600	570	28,3	0,205 5	4,82	0,082 7	0,030 9	5,7
Osmij	Os	57 000	22 800	4,6	0,095	10,4	—	0,031 0	—
Paladij	Pd	12 360	4 450	11,8	0,108	9,26	0,17	0,058	34,2
Platina	Pt	17 320	6 220	8,9	0,098 3	10,2	0,167	0,031 8	27
Renij	Re	53 000	21 000	—	—	—	—	0,032 7	—
Rubidij	Rb	240	—	90	0,125	8,6	—	0,08	6,14
Rutenij	Ru	44 000	17 600	9,1	0,076	13,2	—	0,057	—
Silicij	Si	1 500	4 050	≈ 7	1 000	0,001	0,2	0,168	395,6
Srebro	Ag	8 160	2 940	19,7	0,015 9	63	1,096	0,055 9	24,9
Stroncij	Sr	1 600	620	≈ 20	0,23	4,35	—	0,176	25,1
Talij	Tl	810	280	29	0,18	5,56	0,093	0,031 6	5
Tantal	Ta	18 820	7 000	6,6	0,124	8,1	0,13	0,33	—
Titan	Ti	10 520	3 870	≈ 10	0,80	1,25	—	0,146	—
Torij	Th	7 970	3 160	11,1	0,19	5,8	—	0,034	—
Uran	U	12 000	4 000	—	0,60	1,67	0,064	0,028	—
Vanadij	V	15 000	5 500	8,5	0,26	3,84	—	0,12	—
Volfram	W	41 570	15 140	2,4	0,055	18,2	0,383	0,032 1	44
Zlato	Au	7 900	2 820	14,2	0,020 4	45,7	0,744	0,031	15,5
Željezo	Fe	21 550	8 380	11,7	0,097 8	10,3	0,010 9	0,108	65
Živa	Hg	—	—	—	0,941	1,06	0,025	0,033 3	2,8

Talište °C	Vrelište °C	Parametar rešetke a; (b) 10^{-1} nm	Sistem kristala*	Radijus atoma 10^{-1} nm	Volumen atoma cm³/gram-atom	Relativna atomska masa	Gustoća kod 20° g/cm³	Simbol
660,1	2 447	4,041 5	k. pl. c.	1,430	9,993	26,98	2,70	Al
630,5	1 637	4,501	Rm.	1,461	18,4	121,75	6,68	Sb
—	—	4,123	Rm.	1,25	13,1	74,92	5,78	As
1 083,0	2 360	3,608	k. pl. c.	1,277	7,09	63,54	8,96	Cu
710	1 637	5,015 kod 20°C	k. pr. c.	2,174	39	137,34	3,65	Ba
1 283	2 477	2,267 9	h. k.	1,112 7	4,96	9,012	1,85	Be
271,3	1 559	4,749	Rd.	1,555	21,3	208,98	9,80	Bi
28,6	685	6,05 kod —173°C	k. pr. c.	2,625	70	132,91	1,89	Cs
419,5	907	2,659 5	h. k.	1,331	9,17	65,37	7,136	Zn
1 855,0	4 380	3,229	h. k.	1,583	14	91,22	6,52	Zr
29,78	2 227	5,516 7 (4,510 7)	o. pl. c.	2×1,220	11,8	69,72	5,91	Ga
937,2	2 830	5,647	k. (d.)	1,224	13,5	72,59	5,32	Ge
2 222,0	5 200	3,200	h. k.	1,57	15,7	178,49	13,30	Hf
156,2	2 047	4,583	t. pl. c.	1,62	15,7	114,82	7,31	In
2 454,3	—	3,823	k. pl. c.	1,356	8,58	192,2	22,50	Ir
320,9	765	2,973	h. k.	1,489	13,0	112,40	8,64	Cd
850,0	1 487	5,56	k. pl. c.	1,968 9	25,9	40,08	1,54	Ca
63,2	754	5,333	k. pr. c.	2,313 6	45	39,1	0,854	K
1 495,0	2 880	2,514	h. k.	1,252	6,6	58,93	8,83	Co
231,9	2 687	6,46	k. (d.)	1,511	16,26	118,69	7,30	Sn
1 903	2 642	2,878	k. pr. c.	1,248	7,23	51,996	7,19	Cr
920,0	3 370	3,72	h. k.	1,868	22,6	138,91	6,16	La
180,5	1 317	3,46 kod —173°C	k. pr. c.	1,519 1	13	6,94	0,634	Li
649,5	1 120	3,203	h. k.	1,598 2	14	24,31	1,738	Mg
1 244,0	2 095	8,894	k. o.	1,598	7,39	54,94	7,21	Mn
2 622,0	4 800	3,140 1	k. pr. c.	1,362	9,41	95,94	10,2	Mo
97,82	890	4,30 kod 18°C	k. pr. c.	1,857 7	24	22,99	0,966	Na
1 455,0	2 800	2,66	h. k.	1,245	6,59	58,71	8,90	Ni
2 487,0	4 900	3,03	k. pr. c.	1,429 3	10,8	92,91	8,58	Nb
327,4	1 751	4,941	k. pl. c.	1,749	18,27	207,19	11,34	Pb
2 700,0	—	2,724	h. k.	1,337	8,46	190,2	22,5	Os
1 555,0	3 560	3,879	k. pl. c.	1,374 7	8,89	106,4	12,0	Pd
1 769,0	4 410	3,914 2	k. pl. c.	1,386	9,102	195,09	21,45	Pt
3 180,0	5 600	2,765	h. k.	1,369	9,3	186,2	20,9	Re
38,7	701	5,62	k. pr. c.	2,439 9	55,9	85,47	1,53	Rb
2 500	—	2,695	h. k.	1,324	8,33	101,1	12,3	Ru
1 412,0	2 477	5,417 3	k. (d.)	1,175	12	28,09	2,33	Si
960,8	2 212	4,077 6	k. pl. c.	1,443	10,28	107,87	10,50	Ag
770,0	1 367	6,075	k. pl. c.	2,154	34	87,62	2,63	Sr
303,5	1 457	3,450	h. k.	1,70	17,24	204,37	11,85	Tl
2 996	5 400	3,296	k. pr. c.	1,429	10,9	180,95	16,69	Ta
1 668	3 280	2,951	h. k.	1,457	10,6	47,90	4,50	Ti
1 695	4 200	5,074	k. pl. c.	1,798	20,2	232,04	11,7	Th
1 133	3 900	2,852 5,865	Rm.	1,38	12,7	238,03	18,9	U
1 730	3 380	3,033 8	k. pr. c.	1,316 1	8,5	50,942	5,98	V
3 390	5 530	5,038	k. pr. c.	1,369	9,53	183,85	19,3	W
1 063,0	2 700	4,070 2	k. pl. c.	1,441 9	10,2	196,97	19,30	Au
1 535	2 800	2,861 1	k. pr. c.	1,240	7,1	55,85	7,89	Fe
—38,87	356,73	2,997 kod —48°C	Rd.	1,502	14,81	200,55	13,546	Hg

* **Legenda**
Kubno plošno centrirana — k. pl. c.
Kubno prostorno centrirana — k. pr. c.
Heksagonalna kugličasta — h. k.
Romboedar — Rd.
Rompsko — Rm
Ortorompska plošno centrirana — o. pl. c.
Tetragonsko plošno centrirana — t. pl. c.
Kubno (dijamant) — k. (d.)
Kubno optimalna — k. o.

Sivi liv JUS C.J2.020 Tablica 2.

Skupina	Oznaka vrste liva	Mjerodavna debljina stijenke odljevka mm	Promjer odlivenog uzorka D mm	Vlačna čvrstoća σ_L min kp/mm²	Savojna čvrstoća σ_{sL} min kp/mm²	Ugib f_1 min/mm	Tvrdoća HB kp/mm²	Primjeri upotrebe
Običan liv	SL00						do 240	Neopterećeni dijelovi pribora, uređaja i strojeva; odljevci za štednjake i peći: ukrasni liv
	SL14	od 4 do 8	13	18	32	2	180 do 240	Malo opterećena postolja, oklopi malo opterećenih strojeva, prijenosnika i mjenjačkih kutija; kanalizacijski i sanitarni liv; dijelovi poljoprivrednih strojeva, transmisijska ležišta, konzole, itd.
		iznad 8 do 15	20	16	30	4	175 do 235	
		iznad 15 do 30	30	14	28	7	160 do 230	
		iznad 30 do 50	45	11	24	10	140 do 225	
Liv srednje čvrstoće	SL18	od 4 do 8	13	22	38	2	180 do 250	Malo opterećeni cilindri i klipovi klipnih strojeva; kućišta pumpi niskog pritiska i reduktora; zamašnjaci; remenice; vodovodne cijevi i armatura; dijelovi strojeva za elektroindustriju
		iznad 8 do 15	20	20	36	4	175 do 235	
		iznad 15 do 30	30	18	34	7	170 do 230	
		iznad 30 do 50	45	15	30	10	165 do 225	
	SL22	od 4 do 8	13	26	44	3	180 do 250	Srednje opterećenje postolja i dijelovi strojeva, bubnjevi kočnica brzih vozila i dijelovi s povećanim trošenjem; poklopci lokomotivskih cilindara itd.
		iznad 8 do 15	20	24	42	5	175 do 245	
		iznad 15 do 30	30	22	40	8	170 do 240	
		iznad 30 do 50	45	19	36	11	165 do 235	
Liv velike čvrstoće	SL26	od 8 do 15	20	28	48	5	175 do 245	Cijevi i armature pod pritiskom; jako opterećeni dijelovi strojeva; blokovi motora; cilindri lokomotiva i dizl-motora itd.
		iznad 15 do 30	30	26	46	8	170 do 240	
		iznad 30 do 50	45	23	42	11	165 do 235	
	SL30			30	48	8	180 do 260	Za osobito opterećene odljevke

Žilavi liv (Prema podacima Željezare ŠTORE)* Tablica 3.

Svojstvo	Jedinica mjere	Perlitna struktura	Feritna struktura	Poboljšani žilavi liv
Vlačna čvrstoća	kp/mm²	38–50	50–70	70–90
Granica razvlačenja	kp/mm²	25–38	25–55	50–60
Produženje	%	12–30	2–15	2–8
Čvrstoća savijanja	kp/mm²	75–90	85–120	100–140
Modul elastičnosti	kp/mm²·10³	15–18	15–18	15–18
Tvrdoća po Brinellu	kp/mm²	140–200	180–280	240–300
Udarna žilavost (normalna)	kpm/cm²	6–16	0,5–8	0,5–2
Udarna žilavost (zarezna)	kpm/cm²	1–2,5	0,3–1,5	0,3–1
Trajna čvrstoća (normalna)	kp/mm²	20–26	24–34	30–36
Trajna čvrstoća (zarezna)	kp/mm²	12–16	14–20	16–20

* Napomena. Žilavi liv još nije standardiziran po JUS-u.

Čelični liv JUS C.J3.011 Tablica 4.

Oznaka kvalitete	Mehanička svojstva: Vlačna čvrstoća σ_L kp/mm² min.	Granica razvlačenja σ_R kp/mm² min.	Produženje δ_5 % min.	Žilavost kpm/cm² min	Savijanje $\alpha=180°$ a = debljina epruvete D = promjer valjka	Nečistoća: P % max	S % max	(P+S) % max	Svarljivost	Primjedba
ČL. 0000			20						Izuzev ČL. 0645 za koji je potrebna specijalan postupak, sav ostali čelični liv mora se bez teškoća variti topljenjem.	Za podređene svrhe
ČL. 0300	38		16							
ČL. 0400	45		12							Normalan čelični liv
ČL. 0500	52		8							
ČL. 0600	60									
ČL. 0345	38	18	25		0,85	0,05	0,06	0,10		Kvalitetan čelični liv
ČL. 0346	38	18	25	5	D = 2a	0,05	0,06	0,10		
ČL. 0445	45	22	22			0,05	0,06	0,10		
ČL. 0446	45	22	22	4	D = 3a	0,05	0,06	0,10		
ČL. 0545	52	25	18			0,05	0,06	0,10		
ČL. 0546	52	25	18	3	D = 42	0,05	0,06	0,10		
ČL. 0645	60	36	15			0,05	0,06	0,10		

Vrste i svojstva kovkastog liva

JUS C.J2.021 Tablica 5.

Skupine liva i oznake grupe	Oznaka vrste	Mjerodavna debljina stijenke mm	Promjer epruvete d_0 mm	Vlačna čvrstoća σ_L kp/mm² min.	Produženje δ_5 % min.	Tvrdoća HB kp/mm² max	Primjedba
Bijeli kovkasti liv BTeL	BTeL00					250	
	BTeL35	od 4 do 9	9	34	5	200	
		iznad 9 do 13	12		3		
		iznad 13 do 18	15		3		
		iznad 18 do 30	18		2		
	BTeL40	od 4 do 9	9	38	10	200	
		iznad 9 do 13	12		5		
		iznad 13 do 18	15		3		
		iznad 18 do 30	18		3		
Crni kovkasti liv CTeL	CTeL35	od 4 do 9	9	33	8	150	Feritni liv
		iznad 9 do 13	12				
		iznad 13 do 18	15				
		iznad 18 do 40	18				
	CTeL38	od 4 do 9	9	37	12	140	
		iznad 9 do 13	12				
		iznad 13 do 18	15				
		iznad 18 do 40	18				
	CTeL45	od 4 do 9	9	40	5	250	Perlitni liv
		iznad 9 do 13	12				
		iznad 13 do 18	15				
		iznad 18 do 40	18				

Magnetski limovi za električne strojeve i aparate

JUS C.K5.020 Tablica 6.

Oznaka vrste lima	Mjere: Debljina mm tolerancija ± 10%	Mjere: Ploče šir. × × duž. mm × × mm tolerancija ± 1%	Mjere: Vrpca širina mm, tolerancija ± 1%	Faktor punjenja %	Specifična težina kg/dm³	Broj naizmjeničnih savijanja min	Gubici W/kg maks.: kod 1 Wb/m²	Gubici W/kg maks.: kod 1,5 Wb/m²
MT 93	0,35	750×1 500	Širina trake prema sporazumu	94	7,55	2	0,93	2,40
MT 100							1,00	2,20
MT 110					7,60		1,10	2,80
MT 125							1,25	3,10
MT 135							1,35	3,40
MT 145							1,45	3,70
MD 170	0,5	100×2 000		95	7,65	10	1,70	4,30
MD 200					7,70	30	2,00	5,30
MD 240					7,75		2,40	6,80
MD 280							2,80	8,00
MD 700	1,00						do 7,00	do 16,00

Oznaka vrste lima	Minimalna magnetska indukcija B u Wb/m² za jačinu polja H u A/m: 40	65	100	160	250	400	1 000	2 000	5 000	10 000	50 000	100 000	200 000
MT 93	0,45	0,67	0,86	1,02	1,15	1,25	1,36	1,43	1,55				
MT 100	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MT 110	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MT 125	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MT 135	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MT 145	0,20	0,41	0,66	0,87	1,05	1,20	1,34	1,43	1,55				
MD 170				0,86	1,03	1,17	1,34	1,45	1,57	1,70	2,01	2,09	2,22
MD 200				0,86	1,03	1,17	1,34	1,45	1,57	1,70	2,01	2,09	2,22
MD 240				0,92	1,10	1,22	1,39	1,50	1,63	1,75	2,08	2,17	2,30
MD 280				0,92	1,10	1,22	1,39	1,50	1,63	1,75	2,08	2,17	2,30
MD 700				0,92	1,10	1,22	1,39	1,50	1,63	1,75	2,08	2,17	2,30

Sistem brojčane klasifikacije tehničkog željeza i čelika
prema DIN 17007. Broj materijala (Werkstoffnumern) Tablica 7.

Čelici uključivši i čelični liv				
Obični čelici	Plemeniti čelici: Nelegirani	Plemeniti čelici: Legirani čelici: Alatni čelik	Plemeniti čelici: Legirani čelici: Razni čelici	Plemeniti čelici: Legirani čelici: Kemijski postojani čelici
0 Standardni čelici bez obzira na način proizvodnje	10 Čelici s posebnim fizikalnim svojstvima	20 Cr	30	40 Čelici otporni na kiseline i koroziju: Cr, Cr Ni < 2,0% Ni
01 Uobičajeni Thomasovi čelici	11 konstruktivni čelici: C < 0,50 C	21 Cr Si, Cr Mn, Cr Mn Si	31	41 Čelici otporni na kiseline i koroziju: Cr Mo, Cr Ni Mo <2,0% Ni
02 Propuhavanje	12 konstruktivni čelici: ≧ 0,50 % C	22 Cr V, Cr V Si, Cr V Mn, Cr V Mn Si	32 Brzorezni čelici: dodatak kobalta	42 Čelici otporni na kiseline i koroziju: Cr, Cr Mn
03 Propuhavanje: Bessemerovi čelici	13	23 Cr Mo, Cr Mo V	33 Brzorezni čelici: bez kobalta	43 Čelici otporni na kiseline i koroziju: Cr Ni (Si) > 2,0% Ni
04 > 0,050% P > 0,050% S	14	24 W, Cr W	34 Čelici otporni na trošenje	44 Čelici otporni na kiseline i koroziju: Cr Ni Mo > 2,0% Ni
05 Siemens-Martin čelik: ≦ 0,05% P ≦ 0,050% S; C < 0,20% C	15 Alatni čelici: I kval.	25 W V, Cr W V	35 Čelici za valjkaste ležajeve	45 Čelici otporni na kiseline i koroziju: Cr i Cr Ni s dodacima osim Si, Mn, Mo
06 Siemens-Martin čelik: ≦ 0,05% P ≦ 0,050% S; > 0,20% C ≦ 0,40% C	16 Alatni čelici: II kval.	26 W izvan klase 24, 25 i 27	36 Željezni materijali s posebnim fizikalnim svojstvima: Magnetske slitine: slitine bez Co osim slitina Ni Al	46
07 Siemens-Martin čelik: ≦ 0,05% P ≦ 0,050% S; > 0,40% C	17 Alatni čelici: III kval.	27 Ni	37 Željezni materijali s posebnim fizikalnim svojstvima: Magnetske slitine: slitine sa Co i Ni Al	47 Čelici otporni na vatru: <2% Ni Cr, Cr Si (Al), Cr Al
08 Automatni čelici svarljivi čelici	18 Posebna namjena	28 Posebne slitine	38 Željezni materijali s posebnim fizikalnim svojstvima: Posebne slitine: bez Ni	48 Čelici otporni na vatru: > 2% Ni Cr Ni, Cr Mn
09 Legirani neplemeniti čelici	19	29	39 Željezni materijali s posebnim fizikalnim svojstvima: Posebne slitine: sa Ni	49 Čelici otporni na vatru: za visoke temperature

(nastavak) Tablica 7.

Čelici uključivši i čelični liv: Plemeniti čelici: Legirani čelici: Konstruktivni čelici				Lijevano željezo, Platirane faze, Tvrde slitine
50 Mn, Si, Cu	60 Cr Ni ≧ 2,0 < 3,0% Cr	70 Cr	80 Cr Si Mo, Cr Si Mn Mo, Cr Si Mo V, Cr Si Mn Mo V	90 Temper-liv
51 Mn Si, Mn Cr	61	71 Cr Si, Cr Mn, Cr Si Mn	81 Cr Si V, Cr Mn V	91 Lijevano željezo: sivi liv: nelegiran
52 Mn Cu, Mn V, Si V, Mn Si V	62 Ni Si, Ni Mn, Ni Cu	72 Cr Mo < 0,35% Mo	82 Cr Mo W, Cr Mo W V	92 Lijevano željezo: sivi liv: legiran
53 Mn Ti, Si Ti, Mn Si Ti, Mn Si Zr	63 Ni Mo, Ni Mo Mn, Ni Mo V, Ni V Mo, Ni Cu Mo	73 Cr Mo ≧ 0,35% Mo	83	93 Lijevano željezo: Tvrdi liv
54 Mo (uključivo Mn Si), Nb, Ti, V, W, Cr W, Cr V W	64	74	84 Cr Si Ti, Cr Mn Ti, Cr Si Mn Ti	94 Platirani željezni materijali
55	65 Cr Ni Mo < 0,4% Mo + < 2% Ni	75 Cr V < 2,0% Cr	85 čelik za nitriranje	95
56 Ni	66 Cr Ni Mo ≦ 0,4% Mo + ≦ 2,0 < 3,5% Ni	76 Cr V ≧ 2,0% Cr	86	96
57 Cr Ni ≦ 1,0% Cr	67 Cr Ni Mo < 0,4% Mo + ≦ 3,5 < 5% Ni ili ≧ 0,4% Mo	77 Cr Mo V	87	97
58 Cr Ni ≧ 1,0 < 1,5% Cr	68 Cr Ni V, Cr Ni W, Cr Ni V W	78	88	98 Tvrde slitine
59 Cr Ni ≧ 1,5 < 2,0% Cr	69 Cr Ni izvan klase 57—68	79 Cr Mn Mo, Cr Mn Mo V	89	99

Tipizirane kvalitete konstruktivnih čelika

Tablica 8

Oznaka JUS	Oznaka Prije adaptirana	Oznaka DIN	Broj materijala (Werkstoff-Nummer)
1. — Obični (ugljični) konstrukcijski čelik			
Garantirane mehaničke osobine — JUS C.B0.500			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.0000	St00	(St33)	(1.0033)
Č.0245V	St34V	(St34—2)	(1.0102)
Č.0345	St37	(St37)	(1.0110)
Č.0345V	St37V	(St37—2)	(1.0112)
Č.0445V	St42V	(St42—2)	(1.0132)
Č.0545	St50	St50	(1.0530)
Č.0645	St60	St60	1.0540
B) Posebne kvalitete			
Č.0745	St70	(St70—2)	(1.0632.6)
2 — Čelik za nosive konstrukcije — JUS CB0.501			
A) Prioritetne kvlaitete			
Č.0360	St37	St37	1.0110
Č.0462	St42—3	St42—3	1.0136
Č.0562	St52—3	St52—3	1.0841
3 — Niskougljični čelik — JUS C.B4.016			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.0145	—	(St10)	(1.0022)
Č.0146	SPM	(St10.01)	(1.0022.01)
Č.0147	GLV	(St10.02)	(1.0022.02)
Č.0148	GLVspec.	(St10.03)	(1.0022.03)
4 — Čelik za zakovice — JUS C.B0.506			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.0246	St34.13	St34.13	1.0200
Č.0248	VZ34	QSt34	1.0204
Č.0446	St38.13	St38.13	1.0219
5 — Kotlovski limovi — JUS C.B4.014			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.1204	—	(HII)	(1.0425)
Č.1207	—	(HIII)	(1.0435)
B) Posebne kvalitete			
Č.1200	—	HI	1.0345
Č.1202	—	HI	1.0345
Č.1203	—	HI	1.0345
Č.1205	—	HII	1.0425
Č.1206	—	HIII	1.0435
Č.1208	J.Ž.	—	—
6 — Čelik za cementaciju — JUS C.B9.020			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.1220	C15	C15	1.0401
Č.4320	EC80	16MnCr5	1.7131
Č.4720	ECMo80	15CrMo5	1.7262
Č.4721	ECMo100	20CrMo5	1.7264
Č.5420	ECN150	15CrNi6	1.5919
B) Posebne kvalitete			
Č.1221	Ck15	Ck15	1.1141
Č.5421	ECN200	18CrNi8	1.5920
7 — Čelik za poboljšanje — JUS C.B9.021			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.1330	C22	C22	1.0402
Č.1430	C35	C35	1.0501
Č.1431	Ck35	Ck35	1.1181
Č.1530	C45	C45	1.0503
Č.1730	C60	C60	1.0601
Č.3230	VMS135	37MnSi5	1.5122
Č.4131	VC140	41Cr4	1.7035
Č.4730	VCMo125	25CrMo4	1.7218
Č.4732	VCMo140	42CrMo4	1.7225
Č.4734	VCMo230	30CrMoV9	1.7707
Č.4830	VCV150	50CrV4	1.8159
B) Posebne kvalitete			
Č.1331	Ck22	Ck22	1.1151
Č.1531	Ck45	Ck45	1.1191
Č.1832	C75	C75	1.0605
Č.3830	VMV175	42MnV7	1.5223
Č.4130	VC130	34Cr4	1.7033
Č.5432	VCNMo200	30CrNiMo8	1.6590
8 — Čelik za automate — JUS C.B0.505			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.1190	AS1	(10S20)	1.0721
Č.3190	AS2/II	—	—
B) Posebne kvalitete			
Č.1290	—	(15S20)	(1.0723)
Č.1490	Č0590	(35S20)	(1.0726)
Č.1590	ASGR	(45S20)	(1.0727)
9 — Čelik za opruge toplo valjan — JUS C.B0.551			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.4230	PER1	67SiCr5	1.7103
B) Posebne kvalitete			
Č.2130	38Si6	38Si6	1.0900
Č.2131	46Si7	46Si7	1.0902
Č.2132	KHS-v	51Si7	1.0903
Č.2133	55Si7	55Si7	1.0904
Č.2330	KHS-u	(60SiMn5)	1.0908
Izvan JUS-a			
Č.3132	Ajax	—	—
Č.3134	2Mn	46Mn7	1.0943

(nastavak) Tablica 8.

Oznaka JUS	Oznaka Prije adaptirana	Oznaka DIN	Broj materijala (Werkstoff-Nummer)
10 — Hladno valjani čelik za opruge nije po JUS-u			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.1835	M85	M85	1.0783
Č.1930	Mk101	Mk101	1.1274
B) Posebne kvalitete			
Č.1630	C53	C53	1.0505
Č.1832	C75	C75	1.0605
11 — Hladno vučeni čelik za opruge nije po JUS-u			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.1734	Ck67	Ck67	1.1231
Patentirana žica (DIN 2076): II, III, IV, i V vrsta			
12 — Čelik za nitriranje (nije po JUS-u)			
B) Posebna kvaliteta			
Č.4739	NCAl	34CrAlMo5	1.8507
KONSTRUKTIVNI ČELICI ZA POSEBNE SVRHE (nisu po JUS-u)			
1 — Čelik za kotrljajuće ležaje			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.4146	OCR4 extra spec.	100Cr6(W3)	1.3505
2 — Čelik za upotrebu pri povišenim temperaturama			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.7100	—	15Mo3	1.5415
Č.7431	22CrMo44	22CrMo44	1.7350
B) Posebne kvalitete			
Č.7400	13CrMo44	13CrMo44	1.7335
Č.7432	24CrMoV55	24CrMoV55	1.7733
3 — Čelik za ventile motora			
B) Posebne kvalitete			
Č.4270	Prokron 8	X45CrSi9.3	1.4718
Č.4771	Prokron 5M	X35CrMo17	1.4122
4 — Čelik otporan na vatru			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.4578	Prokron 19	X15CrNiSi2520	1.4841
Č.4970	Prokron 10	X10CrAl24	1.4762
5 — Nerđajući i kemijski otporni čelici			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.4171	Prokron 2	X15Cr13	1.4024
Č.4570	Prokron 2 spec.	(X22CrNi17)	(1.4057)
Č.4572	Prokron 11 spec.	X10CrNiTi18.9	1.4541
B) Posebne kvalitete			
Č.4170	Prokron 1	X10Cr13	1.4006
Č.4582	Prokron 118	X10CrNiNb18.9	1.4550
Č.4574	Prokron 12 spec.	X10CrNiMoTi18.10	1.4571
Č.4571	Prokron 11	X12CrNi18.8	1.4300
6 — Čelik otporan na trošenje (habanje)			
B) Posebna kvaliteta			
Č.3134	2Mn	46Mn7	1.0943
Č.3160	12Mn	X120Mn12	1.3401
SPECIJALNI ČELIK ZA ELEKTROTEHNIKU I ELEKTRONIKU			
1 — Dinamo-limovi			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.2163	MD170	—	—
Č.2162	MD200	—	—
Č.2161	MD240	—	—
Č.2160	MD280	—	—
—	MD700	—	—
2 — Ostale vrste			
B) Posebne kvalitete			
Č.1060	Sp ž 1	—	—
Č.1061	Sp ž 2	—	—
Č.5160	Invar 36	—	—
Č.5161	Invar 42	—	—
Č.5361	BIM 2	—	—
BEŠAVNE CIJEVI			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.1212	Č.0206 (St35.29)	St35.4	1.0309
Č.1214	St35.8	St35.8	1.0305
Č.7100	15Mo3	15Mo3	1.5415
Č.7400	13CrMo44	13CrMo44	1.7335
B) Posebne kvalitete			
Č.1215	St45.8	St45.8	1.0405
Č.1402	St55.29	St55.4	1.0509

Tipizirane kvalitete alatnih čelika

Tablica 9.

Oznaka JUS	Oznaka Ranije adaptirana	Oznaka DIN	Broj materijala (Werkstoff-Nummer)
1 — Nelegirani (ugljični) alatni čelik			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.1840	OC80	C85 W1	1.1530
Č.1941	OC100 extra	100V1	1.2833
Č.1946	OCP110	(C115 W2)	1.1650
Č.1948	OCP135	(C130 W2)	(1.1660)
B) Posebne kvalitete			
Č.1540	OC50	(C45 W3)	(1.1730)
Č.1841	Kose (KES)	(C80 WS)	(1.1822)
Č.1940	OC100	C100W1	1.1540
2 — Legirani alatni čelik za rad u hladnom stanju			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.3840	Merilo	90MnV8	1.2842
Č.6440	Merilo Extra	105WCr6	1.2419
Č.4150	OCR12	(X210Cr12)	(1.2080)
Č.4650	OCR12 spec.	X210CrW12	1.2436
Č.6840	OW1	120WV4	1.2516
Č.4143	OCR3	140Cr3	1.2008
Č.4146	OCR4 ex. spec.	100Cr6(W3)	1.3505
Č.4844	OL2 spec.	—	—
B) Posebne kvalitete			
Č.4140	OCR	90Cr3	1.2056
Č.4750	OCR12 extra	X165CrMoV12	1.2601
Č.6441	OW3	(110WCrV5)	(1.2519)
3 — Legirani alatni čelik za rad u hladnom i vrućem stanju			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.6443	Osikro 2	45WCrV7	1.2542
Č.6444	Osikro 4	60WCrV7	1.2550
4 — Legirani alatni čelik za rad u vrućem stanju			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.4751	Utop Mo1	(X38CrMoV5.1)	(1.2343)
Č.5742	Utop extra 2	56NiCrMoV7	1.2714
B) Posebne kvalitete			
Č.6451	Utop 2	X30WCrV9.3	1.2581
5 — Legirani nerđajući čelici			
Alatni čelik			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.4173	Prokron 4	(X40Cr13)	1.4034
Č.4770	Prokron 5	(X40CrMo15	1.4140
6 — Brzorezni čelik			
A) Prioritetne kvalitete			
Č.6880	BRW	B18	1.3355
Č.6980	BRC	E18Co5	1.3255
Č.7680	BRM2	DMo5	1.3843
Č.9782	BRC3	E18Co10	1.3265
B) Posebne kvalitete			
Č.9780	BRCMo	EMo5Co5	1.3243
Č.9783	BRU	EW9Co10	1.3207

Skupine konstruktivnih čelika

Tablica 10

Orijentacijski kemijski sastav

		Al	C	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Si	Ti	V	W
Čelici otporni na trošenje													
1	Manganski čelici		1,1—1,3				12—13			0,3 —0,5			
2	,,		0,6—0,7				1,4 —1,7			0,2 —0,5			
Čelici otporni na vatru													
3	Krom čelici		—0,12		8,5—13,5		0,2 —0,4			0,6 —0,8			
4	CrMn čelici		—0,15		4—14		1,7 —1,9						
5	CrNi čelici		—0,20		18 —25		—0,5		4 —20	1,5 —2,5			
6	SiCrAl čelici	0,6—1,6	—0,12		6 —25					—1,5			
Nerđajući čelici													
7	Krom čelici		—0,10		17 —18		0,2 —0,4			0,3 —0,5	0,1		
8	,, ,,		0,12—0,43		12,5—13,5		0,2 —0,4			0,3 —0,5		0,2—0,3	
9	,, ,,		0,8 —0,9		17,5—18,5		0,2 —0,4			0,3 —0,5			
10	CrMn čelici		—0,20		12,5—13		9 —18			0,3 —0,5			
11	CrNi ,,		—0,12		17 —18,5		0,2 —0,4		8,5—10,5	0,3 —0,5			
12	,, ,,		—0,10		12 —13		0,2 —0,4		11,5—12,5	0,3 —0,5			
13	CrMo ,,	0,3 —0,4			16 —17		0,2 —0,4	1 —1,3		0,3 —0,5			
14	,, ,,	0,85—0,95			16 —17		0,2 —0,4	1 —1,3		0,3 —0,5			
15	,, ,,		—0,10		12 —13	2,8—3,2	0,2 —0,4	3,8 —4,3	17 —18	0,3 —0,5			
Trajni čelici													
16	Cr čelici		0,18—0,55		0,9— 2,3		0,3 —1,1		—0,8	0,15—0,35		0,25	
17	Mo čelici		0,20—0,38		0,9— 1,6		0,4 —1,5	0,10—0,25	—1,8				
18	MoVW čelici		0,18—0,25		2,7— 3			0,35—0,45				0,75—0,85	0,30—0,45
19	MnSi čelici		0,10—0,40				0,7 —1,4			0,15—1,4			
Magnetni čelici													
20	Gnječive slitine		0,8 —1,05	1,8— 3,1	3,6— 9		—0,40	0,2 —1,6		0 —0,30			0,4 —4,8
21	,,	7 —11,5	—0,05	9 —18			—0,25		17,5—24,5	—0,2	3—4		
22	Lijevane slitine		0,95—1,1		3 — 3,3	3 —4	0,2 —0,4			0,15—0,30			
23	,,	11 —13	—0,05				—0,25		21 —27,5	—0,2			
24	Usmjerene slitine	8,5— 9,5	—0,05	23—24		3,5—4			14,5—15,5				
Dinamo-čelici													
25	Dinamo-limovi		—0,07				—0,3			0,4 —2,3			
26	Trafo-limovi		—0,07				—0,3			2,4 —4,4			

Skupine konstruktivnih čelika (nastavak) Tablica 10.

Elektrootpornici	Al	C	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Si	Ti	V	W
27 CrAl čelici	5 —5,5	—0,10		7,5— 8,5		0,2 —0,4			0,6 —0,9	0,9—1,1		
28 „	4,3—4,8	—0,10		20 —22		0,2 —0,4			0,6 —0,9	0,9—1,1		
29 CrNi čelici		0,1 —0,2		15 —19		0,9 —1		56—78	0,8 —1			
Turbinski čelici												
30 Nerđajući erozijski		0,13—0,38		0,9— 1,6		—0,8	0,15—0,6	1— 1,8	—0,35		0,15—0,35	
31 i trajni čelici		—0,12		12,3—13,5		—0,4	—0,5					
Čelici za opruge												
32 Ugljični		0,05—0,11				0,25—0,40						
33 „		0,65—1,05				0,35—0,80			0,15—0,50			
34 Manganski		0,6 —0,7				0,9 —1,1			1,1 —1,3			
35 Silicijski		0,42—0,75				0,6 —0,8			1,5 —1,8			
36 CrSiV čelici		0,47—0,72		0,4— 1,1		0,4 —1,1		—1,5	0,15—1,4		0,07—0,12	
Ventilski čelici												
37 CrNiW čelici		0,4 —0,5		17,5—18,5		1 —1,4		8,5 —9,5	2,3 —2,8			0,8—1
38 CrSi čelici		0,4 —0,5		2,5— 2,8		0,3 —0,5			3,8 —4,2			
39 „		0,4 —0,5		8 — 9		0,3 —0,5			3 —3,5			
Automatni čelici												
40 0,08 0,12S, < 0,09P		—0,10				0,4 —0,6						
41 0,15 0,25S, < 0,10P		0,05—0,72				0,5 —0,8			0,15—0,25			
Čelici za nitriranje												
42 č. visoke čvrstoće		0,26—0,34		2,2— 2,5			0,15—0,20				0,10—0,15	
43 č. za poboljšanje	0,8—1,2	0,24—0,38		1,1— 1,5		—0,7		1	—0,35			
44 č. za rezanje strugotinom	0,8—1,2	0,24—0,38		1,1— 1,5		—0,7			—0,35		0,10—0,15	
45 toplo otporni čelici	0,8—1,2	0,24—0,38		1,1— 1,5		—0,7	0,2	1	—0,35		0,10—0,15	
Čelici za mjernu tehniku												
46 Nitrirni, P + S < 0,7	0,8—0,12	0,25—0,38		1,1— 1,5		0,25—0,70			0,15—0,35			
47 Cementacijski čelik		—0,18		×		—0,5						
48 Čelici zakaljivi		0,85—0,96				1,8 —2			0,15—0,35		0,07—0,12	
49 u ulju i na zraku		1,4 —1,5		1,3— 1,5		0,5 —0,7			0,15—0,30			
50		1,55—2,25		11 —12		0,20—0,40			0,25—0,40		0,12	
51 Nerđajući čelici		0,38—0,9		12,5—18,5		0,2 —0,4			0,3 —0,5		0,2 —0,3	
52 Invar čelici		—0,05				—0,3		35—37	—0,2			

Ugljični konstruktivni čelici

Kemijski sastav čelika prema JUS C.B2.020 Tablica 11.

Oznaka	Sastav[1] % C	Sastav[1] % Mn	Sastav[1] % Si max	Oznaka	Sastav[1] % C	Sastav[1] % Mn	Sastav[1] % Si max
Č.1100	0,08 0,12	0,30—0,60		Č.1400	0,32—0,38	0,50—0,80	0,35
Č.1101	0,08—0,14	0,30—0,60	0,35	Č.1500	0,38—0,45	0,50—0,80	0,35
Č.1209	0,10—0,15	0,30—0,60	0,35	Č.1501	0,42—0,48	0,50—0,80	0,35
Č.1210	0,12—0,18	0,30—0,60		Č.1600	0,48—0,55	0,50—0,80	0,35
Č.1211	0,14—0,22	0,30—0,60		Č.1601	0,52—0,58	0,50—0,80	0,35
Č.1300	0,18—0,25	0,30—0,60		Č.1700	0,58—0,65	0,50—0,80	0,35
Č.1301	0,18—0,25	0,35—0,60	0,35	Č.1701	0,62—0,70	0,50—0,80	0,35
Č.1302	0,26—0,32	0,40—0,60	0,35				

[1] Svi ti čelici imaju još Pmax = 0,06 %, Smax = 0,06 %, P + S ≤ 0,10 %

Kemijski sastav i mehanička svojstva prema JUS C.B0.500

Oznaka po JUS	Oznaka po DIN ≈	Sastav % C ≈	Sastav % P max	Sastav % S max	Sastav % C + S max	Čvrstoća na vlak σ_L kp/mm²	Izduženje % δ_5	Izduženje % δ_{10}	Pokus na savijanje[4] α	Pokus na savijanje[4] D	Pokus na savijanje[4] k
Č.0000	St 33	—	—	—	—	—50	—	—	90°	4a	20
Č.0010										2a	33
Č.0210	St 34	0,12	—	—	—	32—42	30	25	180°	a/2	66
Č.0245	St 34—2		0,06	0,06	0,10						
Č.0245 V	St 34—3		0,05	0,05	0,09						
Č.0300	St 37	0,18	—	—	—	37—45	25	20	180°	a	50
Č.0345	St 37—2		0,06	0,06	0,10						
Č.0345 V	St 37—3		0,05	0,05	0,09						
Č.0400	St 42	0,25	—	—	—	42—50	25	20	180°	2a	33
Č.0445	St 42—2		0,06	0,06	0,10						
Č.0445	St 42—3		0,05	0,05	0,09						
Č.0545	St 50—2	0,35				50—60	22	18			
Č.0645	St 60—2	0,45	0,06	0,06	0,10	60—70	17	14	—	—	—
Č.0745	St 70—2	0,60				70—85	12	10			

[1] α = kut savijanja, D = promjer pritisnog valjka, K = 50 a/ρ, a — debljina pokusnog uzorka
ρ = radijus krivine

Karakteristike i toplinska obrada (nastavak) Tablica 11.

Oznaka	Karakteristike čelika	Kovanje °C	Normaliziranje °C
Č.0000, Č.0010	za sporedne svrhe	—	—
Č.0210, Č.0245, Č.0245 V Č.0300, Č.0345, Č.0345 V	meki	1 200—900 1 200—900	900—930 900—930
Č.0400, Č.0445, Č.0445 V Č.0545	srednje tvrdi	1 150—900 1 150—900	850—880 830—860
Č.0645 Č.0745	tvrdi	1 100—850 1 100—850	810—840 780—810

Čelici s oznakom V namijenjeni su za svarivanje.

Kvalitetni i plemeniti čelici

Tablica 12.

Standardna oznaka			Sadržaj	Minimalna mehanička svojstva					
DIN		JUS		Žareno			Poboljšano (⌀ 16—40 mm)		
Kvalitetni čelici	Plemeniti čelici	Kvalitetni čelici	C %	σ_R kp/mm²	σ_L kp/mm²	δ_5 %	σ_R kp/mm²	σ_L kp/mm²	δ_5 %
C 22	Ck 22	Č.1330	0,22	24	42—50	27	30	50—60	22
C 35	Ck 35	Č.1430	0,35	28	50—60	22	37	60—72	18
C 45	Ck 45	Č.1530	0,45	34	60—72	18	40	65—80	16
C 60	Ck 60	Č.1730	0,60	39	70—85	15	49	75—90	14

Kotlovski čelici

Tablica 13.

Kemijski sastav u postocima

Oznaka čelika	C	Si	Mn	Cr max	Cu max	P max	S max	Mo	Vruća prerada °C	Žarenje za popuštanje °C	Normaliziranje °C
Č.1200	0,17	0,35	0,30	≦0,30	—	0,05	0,05	—	1100—850	600—650	910—940
Č.1201	0,23	0,35	0,30		—	0,05	0,05	—			890—920
Č.1202	0,16	0,35	0,40		—	0,05	0,05	—			910—940
Č.1203	0,16	0,35	0,40		—	0,05	0,05	—			910—940
Č.1204	0,20	0,35	0,50		—	0,05	0,05	—			890—920
Č.1205	0,20	0,35	0,50		—	0,05	0,05	—			890—920
Č.1206	0,22	0,35	0,55		—	0,05	0,05	—			880—910
Č.1207	0,22	0,35	0,55		—	0,05	0,05	—			880—910
Č.1208	0,15	0,30	0,60		0,25	0,05	0,05	—			910—940
17Mn4	0,14—0,20	0,20—0,40	0,90—1,20	0,7—1,0	—	0,05	0,05	—	1100—850	600—650	880—910
19Mn5	0,17—0,23	0,40—0,60	1,00—1,30		—	0,05	0,05	—	,,	,,	870—900
15Mo3	0,12—0,20	0,15—0,35	0,50—0,70		—	0,04	0,04	0,25—0,35	,,	,,	910—940
13CrMo44	0,10—0,18	0,15—0,35	0,40—0,70		—	0,04	0,04	0,40—0,50	,,	,,	910—940

Mehanička svojstva minimalna

Oznaka čelika	Lomna čvrstoća σ_L kp/mm²	Granica razvlačenja na temperaturi °C 20	100	200	250	300	350	400	Granica puzanja na temperaturi °C 400	425	450	475	Lomno izduženje δ_5 %	Žilavost Prije starenja kpm/cm²	Nakon starenja hladnom dermacijom %	kpm/cm²	Savijanje $\alpha = 180°$ D = ⌀ valjka a = debljina lima	Oznaka po DIN ≈
		kp/mm²							kp/mm²				1000 / Lomna čvrstoća					
Č.1200	35—45	19	18	16	14	12	10	—	7	6	4	(3)		8	—	—	D = 0	I
Č.1201	41—50	22	21	18	16	14	12	—	9	7	5	(3)		6	—	—	D = 2a	II
Č.1202	35—45	21	20	18	16	14	12	9	9	7	5	(3)		8	—	—	D = 0	HI
Č.1203															10	7		HIA
Č.1204	41—50	24	23	21	19	17	14	11	10	8	6	(4)		7	9	6	D = 2a	HII
Č.1205																		HIIA
Č.1206	41—53	26	25	23	21	19	16	13	12	10	8	(5)		6	8	5	D = 2,5a	HIII
Č.1207																		HIIIA
Č.1208	34—42	21	20	18	16	14	12	9	9	9	5	(3)	30	—	10	7	D = 0	—
17Mn4	47—56	28		25	23	21	18	16	14	12	10	(7)	1000	5				
19Mn5	52—62	32		27	25	23	21	18	17		13	10	σ_L	5				
15Mo3	44—53	27		25	23	20	18	17	17	16	15	13	22	6				
13CrMo44	44—56	30		28	26	24	22	21	21	20	19	17	22	6				

Čelici za niske temperature

Tablica 14.

Oznaka čelika prema DIN 17006	Oznaka čelika prema Phönix Rheinrohr	Oznaka čelika prema DIN 17007	Kemijski sastav u postotku C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cr	Ti
TT St 35 (limovi)		0356	≦0,16	0,10—0,35	0,40—0,60	≦0,05	≦0,05				
TT St 41		0437	≦0,20	0,10—0,35	0,50—0,70	≦0,05	≦0,05				
TT St 45		0456	≦0,22	0,10—0,35	0,40—0,70	≦0,05	≦0,05				
10MnAl4	Rheinrohr TT	5031	≦0,12	0,2 —0,4	0,8 —1	≦0,035	≦0,035	0,2—0,4			
10Ni14	„ 330P	5637	≦0,12	0,15—0,35	0,3 —0,6	≦0,035	≦0,035		3,20—3,80		
12Ni19	„ 230V	5680	≦0,20	0,15—0,35	0,3 —0,6	≦0,035	≦0,035		4,5 —5,0		
X8Ni9	„ 130X	5662	≦0,1	0,15—0,35	≦0,80	≦0,035	≦0,035		8,0 —10,1		
X40MnCr22	„ TTA 23S	5152	0,30—0,50	0,30—0,80	21,0—24,0	≦0,10	≦0,05			3,0—3,5	
X12CrNi18 9	Sicromal 18/8	6900	≦0,12	≦1,0	≦2,0				8,0 —10,0	17,0—19,0	
X10CrNiTi1810	„ 18/8 S	6903	≦0,10	≦1,0	≦2,0				9,0 —11,0	17,0—19,0	≦5XC

Mehanička svojstva

Oznaka	Temperatura °C	σ_L kp/mm²	σ_R kp/mm²	Udarna žilavost kpm/cm²	Prva vrijednost odnosi se na stanje	Druga vrijednost odnosi se na stanje
TT St 35	—25	40—44	25—28	7,5—12	Normalno žareno	Poboljšano
	—80	47—51	35	— 8		
TT St 41	—25	45—50	28—30	6,5—10	,,	,,
	—80	52—57	36—41	— 6		
TT St 45	—25	50—54	30—35	5,5— 8,5	,,	,,
	—80	57—61	37—47	— 4		
10MnAl4	—25	44	28	10	—	—
	—80	51	33	6		
10Ni14	—25	53	38	12	—	—
	—80	59	44	8		
12Ni19	—25	52—62	38—48	12—15	Poboljšano s hlađenjem na zraku	Poboljšano s hlađenjem u ulju
	—80	57—67	43—54	8—12		
	—195	—90	—80	— 3		
X8Ni9	—25	81	50	12		
	—80	84	53	11		
	—195	112	71	6		
X40MnCr22	—25	75	35	15		
	—80	84	39	13		
	—195	106	57	8		
X12CrNi18 9	—25	80	28	20		
	—80	105	34	19		
	—195	150	53	15		
X10CrNiTi18 10	—25	80	31	15		
	—80	105	36	15		
	—195	150	55	11		

Konstruktivni čelici za kemijsku industriju

Tablica 15.

Oznaka	Kemijski sastav u % C	Si	Mn	Cr+Cu	P[1]	S[1]	Minimalna mehanička svojstva σ_L kp/mm²	σ_R kp/mm² kod temperature °C 20	100	200	300	350	Granica puzanja (DVM) kod °C 400	450	500	550	δ_5 %	Udarna žilavost kpm/cm²	Tvrdoća H_B
S1	~0,3	<0,4	0,5—0,9		≦0,04	≦0,04	50—60	27	25	22	18	15	11	7	3		22	6	140—170
S2	0,15[3]) 0,25[4])	0,4	~0,6		≦0,04	≦0,04	37—45 / 40—48	21	19,5	17	13,5	11	8,5	5,5	2,5		28 / 26	12 / 10	110—140
S3	~0,2	0,6	~0,9	~0,5	≦0,04	≦0,04	50—60	30	28,2	25	20	16,5	12,5	8	3		24	8	140—170
S3[2])	~0,25	~0,3	~0,9	~0,5	≦0,04	≦0,04	50—60	30	28,2	25	20	17	13	8	4	2	24	8	140—170

[1]) P+S uvijek ≦ 0,07%, [2]) Gradnja konstrukcija nepropusnih za plinove, [3]) Gornje vrijednosti vrijede za tanje komade (< 65 mm ⌀).
[4]) Donje vrijednosti vrijede za deblje komade (> 65 mm ⌀).

Hastelloy — slitine

Tablica 16.

Oznaka (SAD)	Kemijski sastav u % C	Ni	Mo	Cr	Fe	Ta/Nb	Min. mehanička svojstva σ_L kp/mm²	σ_R kp/mm²	δ_5 %	ψ %	H_B	Fizikalna svojstva Gustoća g/cm³	λ cal/cms °C	C kcal/kg °C	Otporan je protiv
HA	<0,10	58,0	21,0	—	19,0	—	75	30	50	45	175	8,8	0,04	0,09	HCl H_2SO_4
HB	<0,10	65,0	28,0	—	5,5	—	95	42	50	45	200	9,2	0,03	0,09	HCl H_2SO_4
HC	<0,10	60,0	17,0	16,5	5,5	—	90	39	35	40	210	8,9	0,03	0,09	HCl, H_2SO_4 HNO_3
HF	<0,10	46,0	6,0	22,0	22,0	2,2	75	35	50	45	170	8,2	0,03	0,09	10% H_2SO_4 70% Fosforne kiseline
HD	<0,10	85,0	9,0Si	1,0Mn	4,0Cu	<1,0 Fe									

Čelici za niske temperature

Tablica 14.

Oznaka čelika prema DIN 17006	Oznaka čelika prema Phönix Rheinrohr	Oznaka čelika prema DIN 17007	Kemijski sastav u postotku C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cr	Ti
TT St 35 (limovi)		0356	≦0,16	0,10—0,35	0,40—0,60	≦0,05	≦0,05				
TT St 41		0437	≦0,20	0,10—0,35	0,50—0,70	≦0,05	≦0,05				
TT St 45		0456	≦0,22	0,10—0,35	0,40—0,70	≦0,05	≦0,05				
10MnAl4	Rheinrohr TT	5031	≦0,12	0,2 —0,4	0,8 —1	≦0,035	≦0,035	0,2—0,4			
10Ni14	„ 330P	5637	≦0,12	0,15—0,35	0,3 —0,6	≦0,035	≦0,035		3,20—3,80		
12Ni19	„ 230V	5680	≦0,20	0,15—0,35	0,3 —0,6	≦0,035	≦0,035		4,5 —5,0		
X8Ni9	„ 130X	5662	≦0,1	0,15—0,35	≦0,80	≦0,035	≦0,035		8,0 —10,1		
X40MnCr22	„ TTA 23S	5152	0,30—0,50	0,30—0,80	21,0—24,0	≦0,10	≦0,05			3,0—3,5	
X12CrNi18 9	Sicromal 18/8	6900	≦0,12	≦1,0	≦2,0				8,0 —10,0	17,0—19,0	
X10CrNiTi1810	„ 18/8 S	6903	≦0,10	≦1,0	≦2,0				9,0 —11,0	17,0—19,0	≦5XC

Mehanička svojstva

Oznaka	Temperatura °C	σ_L kp/mm²	σ_R kp/mm²	Udarna žilavost kpm/cm²	Prva vrijednost odnosi se na stanje	Druga vrijednost odnosi se na stanje
TT St 35	—25	40—44	25—28	7,5—12	Normalno žareno	Poboljšano
	—80	47—51	35	— 8		
TT St 41	—25	45—50	28—30	6,5—10	„	„
	—80	52—57	36—41	— 6		
TT St 45	—25	50—54	30—35	5,5— 8,5	„	„
	—80	57—61	37—47	— 4		
10MnAl4	—25	44	28	10	—	—
	—80	51	33	6		
10Ni14	—25	53	38	12	—	—
	—80	59	44	8		
12Ni19	—25	52—62	38—48	12—15	Poboljšano s hlađenjem na zraku	Poboljšano s hlađenjem u ulju
	—80	57—67	43—54	8—12		
	—195	—90	—80	— 3		
X8Ni9	—25	81	50	12		
	—80	84	53	11		
	—195	112	71	6		
X40MnCr22	—25	75	35	15		
	—80	84	39	13		
	—195	106	57	8		
X12CrNi18 9	—25	80	28	20		
	—80	105	34	19		
	—195	150	53	15		
X10CrNiTi18 10	—25	80	31	15		
	—80	105	36	15		
	—195	150	55	11		

Konstruktivni čelici za kemijsku industriju

Tablica 15.

Oznaka	Kemijski sastav u % C	Si	Mn	Cr+Cu	P[1]	S[1]	Minimalna mehanička svojstva σ_L kp/mm²	σ_R kp/mm² kod temperature °C 20	100	200	300	350	Granica puzanja (DVM) kod °C 400	450	500	550	δ_5 %	Udarna žilavost kpm/cm²	Tvrdoća H_B
S1	~0,3	<0,4	0,5—0,9		≦0,04	≦0,04	50—60	27	25	22	18	15	11	7	3		22	6	140—170
S2	0,15[3] 0,25[4]	0,4	~0,6		≦0,04	≦0,04	37—45 40—48	21	19,5	17	13,5	11	8,5	5,5	2,5		28 26	12 10	110—140
S3	~0,2	0,6	~0,9	~0,5	≦0,04	≦0,04	50—60	30	28,2	25	20	16,5	12,5	8	3		24	8	140—170
S3[3]	~0,25	~0,3	~0,9	~0,5	≦0,04	≦0,04	50—60	30	28,2	25	20	17	13	8	4	2	24	8	140—170

[1]) P+S uvijek ≦ 0,07%, [3]) Gradnja konstrukcija nepropusnih za plinove, [3]) Gornje vrijednosti vrijede za tanje komade (< 65 mm ⌀).
[4]) Donje vrijednosti vrijede za deblje komade (> 65 mm ⌀).

Hastelloy — slitine

Tablica 16.

Oznaka (SAD)	Kemijski sastav u % C	Ni	Mo	Cr	Fe	Ta/Nb	Min. mehanička svojstva σ_L kp/mm²	σ_R kp/mm²	δ_5 %	ψ %	H_B	Fizikalna svojstva Gustoća g/cm³	λ cal/cms °C	C kcal/kg °C	Otporan je protiv
HA	<0,10	58,0	21,0	—	19,0	—	75	30	50	45	175	8,8	0,04	0,09	HCl H_2SO_4
HB	<0,10	65,0	28,0	—	5,5	—	95	42	50	45	200	9,2	0,03	0,09	HCl H_2SO_4
HC	<0,10	60,0	17,0	16,5	5,5	—	90	39	35	40	210	8,9	0,03	0,09	HCl, H_2SO_4 HNO_3
HF	<0,10	46,0	6,0	22,0	22,0	2,2	75	35	50	45	170	8,2	0,03	0,09	10% H_2SO_4 70% Fosforne kiseline
HD	<0,10	85,0	9,0Si	1,0Mn	4,0Cu	<1,0 Fe									

Čelici za zakovice — Vrste čelika i kemijski sastav

Tablica 17.

Oznaka JUS	Oznaka prije adaptirano	Broj materijala	Oznaka po DIN-u	Analiza šarže C %	Si %	Mn %	P % max	S % max	(P+S) % max
Č.0246	St 34.13	(1.0200)	(St 34.13)	do 0,10	tragovi	0,25—0,35	0,05	0,05	0,09
Č.0247	Mu St 34 St 34.13 U MR St 34	(1.0209) (1.0200) 1.0209.6	(Mu St 34) (St 34.13) MR St 34	0,06—0,12	0,15—0,35	0,25—0,50	0,05	0,05	0,09
Č.0248	—	1.0204	Q St 34	do 0,10	tragovi	0,25—0,40	0,04	0,04	0,07
Č.0446	St 38.13	(1.0219)	(St 38.13)	0,12—0,16	0,15—0,30	0,40—0,60	0,05	0,05	0,09
Č.0447	—	1.0419	MR St 44	0,12—0,18	0,20—0,50	0,50—0,80	0,05	0,05	0,09

Mehanička svojstva

Oznaka	Zatezna čvrstoća σ_m kp/mm²	Granica razvlačenja σ_v min kp/mm²	Izduženje min δ_5 %	Izduženje min δ_{10} %	Savijanje $\alpha = 180°$	Zbijanje	Smjernice za upotrebu
Č.0246	34—42	21	30	25	D = 0	u hladnom ili vrućem stanju	Za opću upotrebu
Č.0247	34—42	21	30	25	D = 0	u hladnom ili vrućem stanju	Za odgovornije konstrukcije od čelika Č.0360, Č.0460 Č.0461, Č.0462
Č.0248	34—42	21	30	25	D = 0	u hladnom i u vrućem stanju	Za kotlogradnju
Č.0446	41—47	25	25	20	D = 0	u hladnom i u vrućem stanju	Za brodogradnju
Č.0447	44—52	30	24	19	D = a	u vrućem stanju	Za odgovornije konstrukcije od čelika Č.0560, Č.0561 i Č.0562, za brodogranju

α = kut savijanja; D = promjer valjka svijanja; a = debljina epruvete

Kemijski sastav

Čelici za automate JUS C.B0.505

Tablica 18.

Oznaka vrste čelika	Kemijski sastav[1] C %	Si %	Mn %	P % najviše	S[2] %	
Č.1190	0,06—0,12	0,10—0,40	0,50—0,90	0,07	0,18—0,26	Prikladan za cementaciju za manje odgovorne dijelove
Č.1290	0,12—0,18	0,10—0,40	0,50—0,90	0,07	0,18—0,26	Prikladan za cementaciju
Č.3190	0,14—0,20	≤0,35	1,10—1,40	0,05	0,20—0,25	Osobito prikladan za cementaciju
Č.1490	0,32—0,40	0,10—0,40	0,50—0,90	0,07	0,15—0,25	Prikladan za poboljšanje
Č.1590	0,42—0,51[3]	0,20—0,35	0,70—0,90	0,08	0,18—0,22	Prikladan za poboljšanje

[1] Navedeni kemijski sastav odnosi se na analizu šarže; pri manjim odstupanjima u kemijskom sastavu mjerodavne su mehaničke osobine.
[2] Pri analizi gotovih proizvoda sadržaj sumpora ne smije biti ispod donje granice za više od 15%; uzorak za analizu mora se uzeti od čitavog presjeka.
[3] Za debljine iznad 30 mm donja granica za ugljik mora biti 0,46%.

Cementiranje

Oznaka vrste čelika	Meko žarenje °C	Normalizacija °C	1 Cementacija °C	2 Hlađenje	3 Kaljenje °C	4 Međužarenje °C	5 Kaljenje °C	6 Popuštanje
			Operacija pri cementiranju					
Č.1190			a) U prašku na 850—930	a) U vodi ili ulju	a) U vodi ili ulju		a) U vodi ili ulju	Izvodi se prema potrebi
Č.1290	650 do 700[1]	890 do 920	b) U solnoj kupki na 780—930	b) U solnoj kupki na 180—250 °C sa 15% cijana	890 do 920 b) U solnoj kupki na 180—250°C	650 do 680 Lagano hlađenje na zraku ili peći	770 do 800 b) U solnoj kupki na 180—250°C	Temperatura najmanje 150 °C
Č.3190			c) Plinsko cementiranje na 900—920	c) U sanduku za cementiranje				Trajanje popuštanja treba da bude 1 sat

[1] Za čelike u vučenom stanju preporučuje se temperatura 600 do 620 °C da bi se izbjegla gruba zrna.

Mehanička svojstva (nastavak) Tablica 18.

Oznaka vrste čelika	Debljina mm	Stanje										
		Vruće valjano ili kovano termički neobrađeno	Ljušteno ili vučeno pa normalizirano, ili hladno vučeno pa meko žareno ili ljušteno pa meko žareno			Hladno vučeno			Hladno vučeno pa poboljšano ili ljušteno pa poboljšano			
			najmanje				najmanje				najmanje	
		Lomna čvrstoća σ_L kp/mm²	Lomna čvrstoća σ_L kp/mm²	Granica razvl. σ_R kp/mm²	Produženje δ_5 %	Lomna čvrstoća σ_L kp/mm²	Granica razvl. σ_R kp/mm²	Produženje δ_5 %	Debljina mm	Lomna čvrstoća σ_L kp/mm²	Granica razvl. σ_R kp/mm²	Produženje δ_5 %
Č.1190	do 10	37 do 54	37	22	25	52 do 77	40	7				
	iznad 10 do 30			21		50 do 75	35	8				
	iznad 30 do 80			20		40 do 65	25	11				
Č.1290	do 10	38 do 57	38	24	23	53 do 78	42	6				
	iznad 10 do 30			23		52 do 77	37	7				
	iznad 30 do 80			22		42 do 70	28	9				
Č.3190	do 10	42 do 55	40		20							
	iznad 10 do 30			30		55 do 70	33	8				
	iznad 30 do 80			25		50 do 65	30	10				
Č.1490	do 10	50 do 67	50	30	17	65 do 90	50	6	do 16	65 do 80	42	14
	iznad 10 do 30			29		60 do 85	40	7	iznad 16 do 40	60 do 72	37	16
	iznad 30 do 80			28		50 do 75	30	9	iznad 40 do 80	55 do 65	33	18
Č.1590	do 10	60 do 78	60	34	13	75 do 100	58	5	do 16	75 do 90	48	11
	iznad 10 do 30			33		70 do 95	45	6	iznad 16 do 40	65 do 80	40	12
	iznad 30 do 80			32		65 do 85	32	8	iznad 40 do 80	60 do 72	36	13

Čelici za cementaciju JUS C.B9.020

Tablica 19.

Oznaka		Sastav %							Žareno	Jezgra — kaljeno			Približne smjernice za upotrebu
JUS	DIN	C	Si	Mn	Cr	Ostalo	P_{max}	S_{max}	Tvrdoća HB	σ_R kp/mm²	σ_L kp/mm²	δ_5 %	
Č.1120	C10	0,06—0,12	0,15—0,35	0,25—0,50			0,045	0,045	131	25	42—52	19	Mali dijelovi npr. za pisaće strojeve
Č.1121	Ck10	0,06—0,12	0,15—0,35	0,25—0,50			0,035	0,035	131	25	42—52	19	Kućice, poluge, rukavci, svornjaci, tuljci, zglobovi
Č.1220	C15	0,12—0,18	0,15—0,35	0,25—0,50			0,045	0,045	140	30	50—65	16	Vretena osovinica klipa, bregaste osovine
Č.1221	Ck15	0,12—0,18	0,15—0,35	0,25—0,50			0,035	0,035	140	30	50—65	16	Valjci, vretena, svornjaci, bregaste osovine, mjerila
Č.4120	15Cr3	0,12—0,18	0,15—0,35	0,40—0,60	0,50—0,80		0,035	0,035	187	40	60—85	13	Mali zupčanici, osovine, vratila, mjenjačka kutija
Č.4320	16MnCr5	0,14—0,19	0,15—0,35	1,0—1,3	0,80—1,1		0,035	0,035	207	60	80—110	10	Srednji zupčanici, osovine, vratila, mjenjačka kutija
Č.4321	20MnCr5	0,17—0,22	0,15—0,35	1,1—1,4	1,0—1,3		0,035	0,035	217	70	100—130	8	Kardanski zglobovi, zupčanici, dijelovi krmila
Č.4720	15CrMo5	0,13—0,17	0,15—0,35	0,80—1,1	1,0—1,3	0,2—0,3 Mo	0,035	0,035	207	60	85—110	10	Bregaste osovine, zupčanici, kardanski zglobovi
Č.4721	20CrMo5	0,18—0,23	0,15—0,35	0,90—1,2	1,1 —1,40	0,2—0,3 Mo	0,035	0,035	217	75	110—145	7	Koljenčaste osovine, dijelovi izloženi trošenju
Č.5420	15CrNi6	0,12—0,17	0,15—0,35	0,40—0,60	1,4 —1,7	1,4—1,7 Ni	0,035	0,035	217	65	90—120	9	Visoko opterećeni manji zupčanici
Č.5421	18CrNi8	0,15—0,20	0,15—0,35	0,40—0,60	1,8—2,1	1,8—2,1 Ni	0,035	0,035	235	80	120—145	7	Tanjurasti zupčanici, diferencij. zupčanici, veća vratila

Toplinska obrada. Temperatura pojedinih operacija (°C) (nastavak) Tablica 19.

Oznaka	Normaliziranje	Cementiranje (u prašini)	Kaljenje jezgre	Međužarenje	Kaljenje površine	Popuštanje
Č.1120	890—900	850—880	890—920 v	650—680 p	770—800 v	150—175
Č.1121	890—900	850—880	890—920 v	650—680 p	770—800 v	150—175
Č.1220	890—900	850—880	890—920 v	650—680 p	770—820 v	150—175
Č.1221	890—900	850—880	890—920 v	650—680 p	770—800 v	150—175
Č.4120	870—900	870—900	850—880 v	650—680 p	770—800 v	150—175
Č.4320	850—880	870—900	850—870 u	650—680 pz	810—840 u	175—200
Č.4321	850—880	870—900	840—870 u	650—680 pz	810—840 u	175—200
Č.4720	850—880	830—850	840—870 u	650—680 pz	820—840 u	150—180
Č.4721	850—880	850—880	840—870 u	650—680 pz	820—840 u	150—180
Č.5420	850—880	870—890	840—870 u	630—650 pz	800—830 u	175—200
Č.5421	850—880	870—890	840—870 u	630—650 pz	800—820 u	175—200

Kovanje kod 1 106—850 °C
Oznake v i u znače kaljenje u vodi, odnosno u ulju

p znači u peći
pz znači u peći ili na zraku

Čelici za nitriranje još nisu standardizirani po JUS-u

1. Kemijski sastav, mehanička svojstva i termička obrada Tablica 20.

Oznaka JUS	Oznaka Prije adaptirana	Oznaka DIN	Sastav %	Tvrdoća (žaren) HB kg/mm	Mehaničke osobine u poboljšanom stanju: Granica razvlačenja min kg/mm²	Mehaničke osobine u poboljšanom stanju: Lomna čvrstoća kg/mm²	Mehaničke osobine u poboljšanom stanju: Produženje δ_5 %	Tvrdoća nitrirane površine HV	Kovanje °C	Termička obrada: Normaliziranje °C	Termička obrada: Žarenje °C	Termička obrada: Kaljenje °C	Termička obrada: Sredstvo	Termička obrada: Popuštanje °C	Upotreba
Č.4739	NCAl	NCAl	C0,3 Cr1,0 Mo0,25 Al1,1	235	60	80 — 100	14	900	1 080 — 850	870 — 900	700 — 720	870 — 900	voda	580 — 600	Za dijelove motora kao npr. osovine, radilice
—	—	NCMo	C0,3 Cr2,5 Mo0,2 V0,2	235	90	105 — 125	10	750	1 100 — 850	870 — 900	690 — 720	870 — 900	ulje	560 — 590	
—	—	NCV	C0,3 Cr2,4 V0,2	—	75	90 — 105	14	—	1 100 — 850	870 — 900	680 — 700	870 — 900	ulje	580 — 620	

2. Utjecaj dodataka željezu na tvrdoću nitriranja

Vrsta čelika	%C	Dodaci %		Tvrdoća (Brinell): prije nitriranja	Tvrdoća (Brinell): poslije nitriranja	Porast tvrdoće
Elektrolitsko željezo	0,051	—		90	140	50
C-Čelik	0,62	—		215	234	19
C-Čelik	1,27	—		278	285	7
Si-Čelik	0,48	1,95 Si	0,33 Mn	244	317	73
Si-Čelik	0,17	3,20 Si	0,17 Mn	207	288	81
Mn-Čelik	0,43	0,06 Si	1,50 Mn	215	285	70
Si-Mn-Čelik	0,46	1,30 Si	1,60 Mn	229	388	159
Ni-Čelik	0,33		3,6 Ni	191	191	0
Co-Čelik	0,20		4,93 Co	138	222	84
V-Čelik	0,18		0,22 V	157	317	160
Cr-Čelik	0,22		2,81 Cr	219	404	185
Al-Čelik	0,28		3,28 Al	174	389	215
Al-Čelik	0,13		2,50 Al	145	485	340
Ti-Čelik	0,18		3,85 Ti	161	393	232
Cr-Ti-Čelik	0,17	2,25 Cr	0,80 Ti	147	394	247
Cr-Mn-Čelik	0,44	1,00 Mn	1,90 Cr	298	500	202
Cr-Al-Čelik	0,40	2,30 Cr	1,75 Al	310	592	282

Čelici za poboljšanje JUS C.B9.021

Kemijski sastav

Tablica 21.

Oznaka	Kemijski sastav								
	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	V %	P % max	S % max
Č.1330	0,18—0,25	0,15—0,35	0,30—0,60					0,045	0,045
Č.1430	0,32—0,40	0,15—0,35	0,40—0,70					0,045	0,045
Č.1530	0,42—0,50	0,15—0,35	0,50—0,80					0,045	0,045
Č.1730	0,57—0,65	0,15—0,35	0,50—0,80					0,045	0,045
Č.1331	0,18—0,25	0,15—0,35	0,30—0,60					0,035	0,035
Č.1431	0,32—0,40	0,15—0,35	0,40—0,70					0,035	0,035
Č.1531	0,42—0,50	0,15—0,35	0,50—0,80					0,035	0,035
Č.1731	0,57—0,65	0,15—0,35	0,50—0,80					0,035	0,035
Č.3130	0,36—0,44	0,25—0,50	0,80—1,1					0,035	0,035
Č.3131	0,27—0,34	0,15—0,35	1,2 —1,5					0,035	0,035
Č.3230	0,33—0,41	1,1 —1,4	1,1 —1,4					0,035	0,035
Č.3830	0,38—0,45	0,15—0,35	1,6 —1,9				0,07—0,12	0,035	0,035
Č.4130	0,30—0,37	0,15—0,35	0,50—0,80	0,90—1,2				0,035	0,035
Č.4131	0,38—0,44	0,15—0,35	0,50—0,80	0,90—1,2				0,035	0,035
Č.4830	0,47—0,55	0,15—0,35	0,80—1,1	0,90—1,2			0,07—0,12	0,035	0,035
Č.4730	0,22—0,29	0,15—0,35	0,50—0,80	0,90—1,2		0,15—0,25		0,035	0,035
Č.4731	0,30—0,37	0,15—0,35	0,50—0,80	0,90—1,2		0,15—0,25		0,035	0,035
Č.4732	0,38—0,45	0,15—0,35	0,50—0,80	0,90—1,2		0,15—0,25		0,035	0,035
Č.4733	0,46—0,54	0,15—0,35	0,50—0,80	0,90—1,2		0,15—0,25		0,035	0,035
Č.4734	0,26—0,34	0,15—0,35	0,40—0,70	2,3 —2,7		0,15—0,25	0,10—0,20	0,035	0,035
Č.5430	0,32—0,40	0,15—0,35	0,50—0,80	0,90—1,2	0,90—1,2	0,15—0,25		0,035	0,035
Č.5431	0,30—0,38	0,15—0,35	0,40—0,70	1,4 —1,7	1,4 —1,7	0,15—0,25		0,035	0,035
Č.5432	0,26—0,34	0,15—0,35	0,30—0,60	1,8 —2,1	1,8 —2,1	0,25—0,35		0,035	0,035

Toplinska obrada

(nastavak) Tablica 21.

Oznaka	Kovanje °C	Meko žarenje °C	Normaliziranje °C	Poboljšanje		
				Kaljenje		Popuštanje °C
				u vodi °C	u ulju °C	
Č.1330	1 100—850	650—700	880—910	860—890	870—900	
Č.1331	1 100—850	650—700	880—910	860—890	870—900	
Č.1430	1 100—850	650—700	860—890	840—870	850—880	
Č.1431	1 100—850	650—700	860—890	840—870	850—880	530—670
Č.1530	1 100—850	650—700	840—870	820—850	830—860	
Č.1531	1 100—850	650—700	840—870	820—850	830—860	
Č.1730	1 050—850	650—700	820—850	800—830	810—840	
Č.1731	1 050—850	650—700	820—850	800—830	810—840	
Č.3130	1 100—850	650—700	850—880	820—850	830—860	
Č.3131	1 100—850	650—700	850—880	820—840	830—850	530—670
Č.3230	1 050—850	680—720	860—890	830—850	840—860	
Č.3830	1 050—850	640—680	860—890	840—860	850—870	
Č.4130	1 050—850	680—720	850—880	820—840	830—850	
Č.4131	1 050—850	680—720	850—880	820—840	830—850	530—670
Č.4830	1 050—850	680—720	850—880	(820—840)	830—860	
Č.4730	1 050—850	680—720	860—890	830—850	840—860	
Č.4731	1 050—850	680—720	850—880	820—840	830—850	
Č.4732	1 050—850	680—720	850—880	820—840	830—850	530—670
Č.4733	1 050—850	680—720	850—880	820—840	830—850	
Č.4734	1 050—860	680—720	870—900	840—870	850—880	
Č.5430	1 050—850	650—700	650—880	820—840	830—850	
Č.5431	1 050—850	650—700	650—880	—	830—850	530—670
Č.5432	1 050—850	650—700	650—880	—	830—850	

Oznaka	Žareno stanje	Poboljšano stanje																					
		do 16 mm debljine				debljina 16 ÷ 40 mm				debljina 40 ÷ 100 mm				debljina 100 ÷ 250 mm									
	Tvrdoća max HB kg/mm²	Granica razvlačenja σR kp/mm² (min)	Vlačna čvrstoća σL kp/mm²	Produženje δ5 % (min)	Kontrakcija ψ % (min)	Granica razvlačenja σR kp/mm² min	Vlačna čvrstoća σL kg/mm²	Produženje δ5 % (min)	Kontrakcija ψ % (min)	Granica razvlačenja σR kp/mm² (min)	Vlačna čvrstoća σL kp/mm²	Produženje δ5 % (min)	Kontrakcija ψ % (min)	Granica razvlačenja σR kp/mm² (min)	Vlačna čvrstoća σL kp/mm²	Produženje δ5 % (min)	Kontrakcija ψ % (min)	Granica razvlačenja σR kp/mm² (min)	Vlačna čvrstoća σL kp/mm²	Produženje δ5 % (min)	Kontrakcija ψ % (min)	Granica razvlačenja σR kp/mm² (min)	Vlačna čvrstoća σL kp/mm²	Produženje δ5 % (min)	Kontrakcija ψ % (min)
Č.1330	155	36	55 ÷ 65	20	40	30	50 ÷ 60	22	45	—	—	—	—										
Č.1331	155	36	55 ÷ 65	20	45	30	50 ÷ 60	22	50	—	—	—	—										
Č.1430	172	42	65 ÷ 80	16	35	37	60 ÷ 72	18	40	33	55 ÷ 65	20	45										
Č.1431	172	42	65 ÷ 80	16	40	37	60 ÷ 72	18	45	33	55 ÷ 65	20	50										
Č.1530	206	48	75 ÷ 90	14	30	40	65 ÷ 80	16	35	36	60 ÷ 72	18	40										
Č.1531	206	48	75 ÷ 90	14	35	40	65 ÷ 80	16	40	36	60 ÷ 72	18	45										
Č.1730	243	57	85 ÷ 105	12	25	49	75 ÷ 90	14	30	44	70 ÷ 85	15	35										
Č.1731	243	57	85 ÷ 105	12	30	49	75 ÷ 90	14	35	44	70 ÷ 85	15	40										
Č.3130	217	65	90 ÷ 105	12	40	55	80 ÷ 95	14	45	45	70 ÷ 85	15	50										
Č.3131	217	—	—	—	—	55	80 ÷ 95	14	45	45	70 ÷ 85	15	50	42	65 ÷ 80	16	55						
Č.4730	217	65	90 ÷ 105	12	50	55	80 ÷ 95	14	55	45	70 ÷ 85	15	60	42	65 ÷ 80	15	55						
Č.3230	217	80	100 ÷ 120	11	35	65	90 ÷ 105	12	40	45	80 ÷ 95	14	45	45	70 ÷ 80	15	50						
Č.4130	217	80	100 ÷ 120	11	40	65	90 ÷ 105	12	45	55	80 ÷ 95	14	50	—	—	—	—	—	—	—	—		
Č.4131	217	80	100 ÷ 120	11	40	65	90 ÷ 105	12	45	55	80 ÷ 95	14	50	—	—	—	—	70	70 ÷ 85	15	60		
Č.4731	217	80	100 ÷ 120	11	45	65	90 ÷ 105	12	50	55	80 ÷ 95	14	55	45	—	—	—	70	70 ÷ 85	15	60		
Č.3830	217	90	110 ÷ 130	10	30	80	100 ÷ 120	11	35	70	90 ÷ 105	12	40	—	—	—	—	—	—	—	—		
Č.4732	217	90	110 ÷ 130	10	40	80	100 ÷ 120	11	45	70	90 ÷ 105	12	50	55	75 ÷ 90	14	55	55	75 ÷ 90	14	55		
Č.5430	217	90	110 ÷ 130	10	45	80	100 ÷ 120	11	50	70	90 ÷ 105	12	55	55	75 ÷ 90	14	60	55	75 ÷ 90	14	60		
Č.4733	235	—	—	—	—	90	110 ÷ 130	10	40	80	100 ÷ 120	11	45	60	80 ÷ 100	13	50						
Č.4830	235	—	—	—	—	90	110 ÷ 130	10	40	80	100 ÷ 120	11	45	60	80 ÷ 100	13	50						
Č.5431	235	—	—	—	—	90	110 ÷ 130	10	45	80	100 ÷ 120	11	50	60	80 ÷ 100	13	55						
Č.4734	248	—	—	—	—	105	125 ÷ 145	9	35	90	110 ÷ 130	10	40	70	90 ÷ 100	12	50						
Č.5432	248	—	—	—	—	105	125 ÷ 145	9	40	90	110 ÷ 130	10	45	70	90 ÷ 100	12	55						

Normalizirano stanje (nastavak) Tablica 21.

Oznaka	Promjer mm	Granica razvlačenja σR kp/mm² (min)	Lomna čvrstoća σL kp/mm²	Produženje δ5 (min) %
Č.1330	do 40	24	42 ÷ 50	27
Č.1430	do 100	28	50 ÷ 60	22
Č.1530	do 100	34	60 ÷ 72	18
Č.1730	do 100	39	70 ÷ 85	15

Navedena mehanička svojstva vrijede u smjeru valjanja. Garantirane vrijednosti za **žilavost** mogu se odrediti pri narudžbi utanačenjem odgovarajućih uvjeta.

Srašteni tvrdi metali

Tablica 25.

Oznaka	Primjer	Kemijski sastav u %					Primjena
		C	Co	Ti	W	Nb + Ta	
G1	Widia G1	5,8	6,0	—	88,0		Alati za strojni liv tvrdoće do 200B, Cu-slitine izolacije itd. Svrdla, glodala, upuštači, razvrtači za metale s dugom strugotinom; udarni i bušači alati u rudarstvu, oblaganje ploha za velika trenja
G2	Titanit G2	5,5	11,0	—	83,5		
H2		6,0	7,0	—	85,5	1,5	Tokarski alat za tvrdi liv, tvrdi papir, roževina, kosti, mramor, porculan, staklo, škriljac
S1	Böhlerit S1	7,5	6,0	12,5	74,0		Tokarski alati za sve vrste čelika (žaren, poboljšan, kaljen) Mn-tvrdi čelik, čelični liv
S2	Widia S2	7,5	8,0	10,5	74,0		
S3	Titanit S3	6,5	7,0	4,0	82,5		
F1	Widia F1	8,0	6,0	18,0	68,5		Alati za najfiniju obradu čelika, napose bušenje, glačanje (sitna strugotina), najviše brzine rezanja.

Čelici za opruge JUS C.BO. 551 – DIN 17221/17225

1. Čvrstoća hladno vučene trake od nerdajućeg čelika X12 CrNi 17 7

Tablica 22.

Debljina trake mm	Čvrstoća kp/mm² za širinu trake mm	
	do 100 mm	preko 100 mm
do 0,5	135	125
0,5—1,0	130	120
1,0—2,0	120	115
2,0—2,5	115	110

5. Moduli elastičnosti i smika nerdajućeg čelika za opruge

DIN Oznaka	Modul elasticiteta E kp/mm²	Modul smika G kp/mm²
X12CrNi17 7	18 000	7 300
X5CrNiMo18 10	18 000	8 000
X20Cr13	21 000	8 000

2. Kemijski sastav čelika za opruge

Oznaka		Kemijski sastav						
JUS	Prije adaptirano	% C	% Si	% Mn	% Cr	% V	% P_{max}	% S_{max}
Č.2130	38Si6	0,35—0,42	1,4 —1,6	0,50—0,80			0,050	0,050
Č.2131	46Si7	0,42—0,50	1,5 —1,8	0,50—0,80			0,050	0,050
Č.2132	51Si7	0,48—0,55	1,5 —1,8	0,50—0,80			0,050	0,050
Č.2133	55Si7	0,52—0,60	1,5 —1,8	0,70—1			0,050	0,050
Č.2330	KHS ulje	0,55—0,65	1,3 —1,6	0,90—1,2			0,050	0,050
Č.2337	2SiUIC60S7	0,55—0,65	1,5 —1,8	0,70—1			0,050	0,050
Č.2134	66Si7	0,60—0,70	1,5 —1,8	0,70—1,0			0,035	0,035
Č.4230	PER1	0,62—0,72	1,2 —1,4	0,40—0,60	0,40—0,60		0,035	0,035
Č.4830	50CV4 VCV150	0,47—0,55	0,15—0,35	0,80—1,1	0,90—1,2	0,07—0,12	0,035	0,035
Č.4831	58CrV4	0,55—0,62	0,15—0,35	0,80—1,1	0,90—1,2	0,07—0,12	0,035	0,035

3. Mehaničke osobine čelika za opruge

(nastavak) Tablica 22.

Oznaka		Stanje materijala				
		Vruće valjano	Meko žareno	Kaljeno i popušteno		
JUS	Prije adaptirano	Tvrdoća HB $\frac{kp}{mm^2}$	Tvrdoća HB $\frac{kp}{mm^2}$	Granica razvlačenja min σ_R kp/mm²	Lomna čvrstoća σ_L kp/mm²	Produženje min δ_5 %
Č.2130	38Si6	240	217	105	120—140	6
Č.2131	46Si7	255	230	110	130—150	6
Č.2132	51Si7	270	230	110	130—150	6
Č.2133	55Si7	290	235	110	130—150	6
Č.2330	KHS ulje	310	240	110	130—150	6
Č.2331	2SiUIC60 S7	310	240	110	130—150	6
Č.2134	66Si7	310	240	120	140—160	6
Č.4230	PER1	310	240	135	150—170	5
Č.4830	50CV4VCV150	310	235	120	135—170	6
Č.4831	58CrV4	310	235	135	135—170	6

4. Temperatura vruće prerade i toplinske obrade vruće valjanih čelika za opruge

Oznaka		Kovanje °C	Uobličenje u toplom stanju °C	Meko žarenje °C	Normalizacija °C	Poboljšavanje i kaljenje		
JUS	Prije adaptirano					voda °C	ulje °C	popuštanje °C
Č.2130	38Si6	1 050—850	900—830	640—680	830—860	830—860		470—540
Č.2131	46Si7	1 050—850	900—820	640—680	830—860	820—860		470—540
Č.2132	51Si7	1 050—850	900—820	640—680	830—860	820—860		470—540
Č.2133	55Si7	1 050—850	900—830	640—680	830—860	—	830—860	470—540
Č.2134	66Si7	1 050—850	900—830	640—680	830—860	—	820—850	470—540
Č.2330	KHS ulje	1 050—850	900—830	680—700	830—860	—	820—850	470—540
Č.2331	2SiUIC60S7	1 050—850	920—830	640—680	830—860	—	820—850	470—540
Č.4230	PER1	1 050—850	900—830	640—680	830—860	—	820—850	430—500
Č.4830	50CV4 VCV150	1 100—850	920—830	640—680	830—880	—	830—860	430—520
Č.4831	58CrV4	1 100—850	920—830	640—680	830—880	—	830—860	430—500

5. Usporedba i primjena

(nastavak) Tablica 22.

Oznaka				Smjernice za upotrebu
JUS	Prije adaptirana	Broj materijala	DIN	
Č.2130	38Si6	1.0900	38Si6	Za prstenaste elastične podloške i podložne pločice za osiguranje, tanjuraste opruge i opruge kultivatora
Č.2131	46Si7	1.0902	46Si7	Za pužaste opruge za vagone, lisnate opruge do 13 mm debljine i zavojne opruge za vagone
Č.2132	51Si7	1.0903	51Si7	Za lisnate opruge iznad 13 mm debljine i zavojne opruge za vagone
Č.2133	55Si7	1.0904	55Si7	Za lisnate opruge do 7 mm debljine za cestovna vozila, zavojne opruge, zavojne opruge do 10 mm debljine za vagone, podložne pločice za osiguranje i tanjuraste opruge
Č.2330	KHS ulje	1.0908	60SiMn5	Za lisnate opruge iznad 7 mm debljine za cestovna vozila, zavojne, tanjuraste i prstenaste opruge
Č.2331	2SiUICS7	1.0906	65Si7	Zavojne i lisnate opruge iznad 13 mm debljine za vagone
Č.2134	66Si7	1.5028	66Si7	Za lisnate i zavojne opruge, torzijske opruge promjera do uključivo 40 mm
Č.4230	PER1	1.7103	67SiCr5	Za zavojne opruge osobito napregnute na udar, torzijske opruge promjera do uključivo 40 mm i za opruge ventila
Č.4830	50CV4 VCV150	1.8159	50CrV4	Za najjače napregnute opruge cestovnih vozila, zavojne opruge, tanjuraste opruge, torzijske opruge promjera do uključivo 40 mm
Č.4831	58CrV4	1.8161	58CrV4	Za najjače napregnute zavojne i torzijske opruge velikog promjera
—	—	1.4310	X12CrNi17 7	Za opruge svih vrsta, koje su izložene korozivnom djelovanju zraka, vodene pare i drugih kemijskih škodljivih materija
—	—	1.4401	X5CrNiMo18 10	
—	—	1.4021	X20Cr13	Za opruge svih vrsta koje su izložene korozivnom djelovanju zraka i vodene pare

6. Kemijski sastav nerđajućih čelika za opruge

(nastavak) Tablica 22.

Oznaka		Kemijski sastav							
DIN	Broj mater.	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni
X12CrNi17 7	1.4310	< 0,15	< 1,0	< 2,0	< 0,04	< 0,03	16,0 ÷ 18,0	—	7,0 ÷ 8,0
X5CrNiMo18 10	1.4401	< 0,07	< 1,0	< 2,0	< 0,04	< 0,03	16,5 ÷ 18,5	2,0 ÷ 2,5	10,5 ÷ 12,5
X20Cr13	1.4021	0,17 ÷ 0,22	< 1,0	< 1,0	< 0,04	< 0,03	12,0 ÷ 14,0	—	—

7. Vlačna čvrstoća hladnovučene žice od čelika za opruge X12 CrNi 17 7

Promjer žice mm	do 0,5	0,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,2	2,2 ÷ 3,0	3,0 ÷ 4,0	4,0 ÷ 6,0	6,0 ÷ 9,0	9,0 ÷ 10
Vlačna čvrstoća kp/mm²	190	170	160	150	140	135	120	110	105

Alatni čelici za rad u hladnom, odnosno vrućem stanju

1 — Oznaka i kemijski sastav legiranog alatnog čelika za rad u hladnom i vrućem stanju

Tablica 23.

Oznake				Kemijski sastav %	Upotreba
JUS	St. adapt.	Broj materijala	DIN		
Č.6443	Osikro 2	1.2542	45WCrV7	0,45C 1,0Si 1,0Cr 2,0W	Upotrebljava se za sve vrste pneumatskog alata za rad u hladnom i vrućem stanju, za škare za rezanje u hladnom i vrućem stanju i matrice za prešanje u vrućem stanju
Č.6444	Osikro 4	1.2550	60WCrV7	0,6C 0,6Si 1,0Cr 2,0W	Upotrebljava se napose za probojni alat, za alat za sječenje u hladnom i toplom stanju, za alate za obradu drveta, za noževe, za sjekiraste oblike, visoko opterećene profilne noževe, profilna glodala itd.

2 — Mehaničke osobine i termička obrada legiranih alatnih čelika za rad u hladnom i vrućem stanju

Oznake		Kovanje °C	Meko žarenje °C	Tvrdoća poslije žarenja max HB	Kaljenje °C	Sredstvo	Tvrdoća poslije kaljenja Rc	Popuštanje °C
JUS	St. adapt.							
Č.6443	Osikro 2	1 050—850	720—750	210	840—880 890—930	voda ulje	59 57	150—300
Č.6444	Osikro 4	1 050—850	720—750	220	860—900	ulje	60	150—300

3 — Oznake i kemijski sastav legiranih alatnih čelika za rad u vrućem stanju, i nerđajućih alatnih čelika

(nastavak) Tablica 23.

Oznake				Kemijski sastav %	Upotreba	Vrsta
JUS	St. adapt.	Broj materijala	DIN			
Č.6451	Utop 2	1.2581	X30WCrV9.3	2,5Cr 9,0W 0,4V	Matrice i trnovi kod najviših toplinskih opterećenja, alati za lijevanje pod tlakom i kalupi za gravitacijsko lijevanje bakra i bakrenih legura. Nije za alate koji se hlade vodom	Legirani alatni čelici za rad u vrućem stanju
Č.5742	Utop extra 2	1.2714	56NiCrMoV7	1,0C 1,7Ni 0,5Mo 0,15V	Upotrebljava se za matrice i ukovnje s dubokim gravurama, čvrstoće iznad 120 kp/mm²	
Č.4751	Utop Mo1	(1.2343)	(X38Cr MoV5.1)	5,0C 1,0Si 1,3Mo 0,4V	Matrice i trnovi za prešanje čelika, napose aluminija i mjedi. Probijači i noževi za škare, kalupi za lijevanje aluminija, magnezija i cinka pod tlakom: za alate koji se moraju hladiti vodom	
Č.4173	Prokron 4	(1.4034)	(X40Cr13)			Nerđajući alatni čelici
Č.4770	Prokron 5	(1.4140)	(X40CrMo15)			

4 — Mehanička i toplinska obrada legiranih alatnih čelika za rad u vrućem stanju i nerđajućih alatnih čelika

Oznake		Meko žarenje °C	Tvrdoća poslije žarenja max HB	Kaljenje °C	Sredstvo	Tvrdoća poslije kaljenja Rc	Popuštanje °C	Vrsta
JUS	St. adapt.							
Č.6451	Utop 2	780—810	250	1 130—1 160	ulje ili zrak	45	600—700	Legirani alatni čelici za rad u vrućem stanju
Č.5742	Utop extra 2	680—700	250	840— 870 870— 900	ulje zrak	52	500—600	
Č.4751	Utop Mo 1	810—830	250	1 000—1 030	ulje ili zrak	53	550—650	
Č.4173	Prokron 4	770—800	230	950—1 020	ulje	52	150—400	Nerđajući alatni čelici
Č.4770	Prokron 5	770—880	240	950—1 000	ulje	55	150—400	

Legirani alatni čelici za rad u hladnom stanju

Tablica 24.

Oznaka JUS	Oznaka prije adaptirana / Broj materijala	Kemijski sastav %	Kovanje °C	Meko žarenje °C	Tvrdoća poslije žarenja max HB	Kaljenje °C	Sredstvo	Tvrdoća poslije kaljenja Rc	Popuštanje °C	Snižavanje tvrdoće pri popuštanju °C 100	°C 200	°C 300	Upotreba
Č.6840	OW1 / (1.2516)	1,2C 1,0W 0,15V	1 000—800	710—730	210	780—810	voda	65	150—200	65	62	58	Spiralna svrdla, razvrtači, glodala, tokarski noževi, dlijeta, nareznice
Č.6841	OW2 / (1.2516)	1,2C 1,4W 0,15V	1 000—800	710—730	210	810—830	voda ili ulje	66	150—300	66	63	60	Kirurški instrumenti, zubna svrdla, ručna dlijeta, glodala za predmete od plastike
Č.6441	OW3 / (1.2519)	1,1C 1,5W 0,6Cr	1 000—800	710—730	210	u vodi: 780—820 u ulju: 820—860	voda ili ulje	65	150—300	65	63	60	Noževi za drvo, duhan, papir, karton, pust (filc) itd.
Č.4140	OCR / 1.2056	0,85C 0,9Cr	1 050—800	720—740	220	780—820	voda	65	150—250	65	62	56	Patrice i matrice, alat za masovno prešanje sitnih predmeta
Č.4141	OCR1 / 1.2210	1,1C 1,0Cr 0,1V	1 000—750	720—740	220	780—820	voda	65	150—200	65	62	56	Velika spiralna svrdla, razvrtači, glodala, tokarski noževi, dlijeta, nareznice
Č.4142	OCR2	1,2C 1,0Cr	1 000—750	720—740	220	780—820	voda	65	150—200	65	62	56	Pile, urarski alat, pile za metale, visokokvalitetne turpije
Č.4143	OCR3 / 1.2008	1,5C 0,8Cr	1 000—800	730—760	220	780—840	voda ili ulje	66	150—200	—	—	—	Noževi za obradu SL, Ms, Cu, mramora, britvi, dlijeta
Č.4144	OCR4 / (1.2067)	1,0C 1,5Cr	1 050—850	760—780	220	820—850	ulje	64	150—200	64	62	57	Kalibri, ekscentri, valjci, matrice
Č.4145	OCR4 extr. / (1.2067)	1,0C 1,5Cr	1 050—850	760—780	220	820—850	ulje	64	150—200	64	62	57	Isto, ali za povećane zahtjeve u kvaliteti

(nastavak) Tablica 24.

Oznaka JUS	Oznaka prije adaptirana / Broj materijala	Kemijski sastav %	Kovanje %	Meko žarenje °C	Tvrdoća poslije žarenja max HB	Kaljenje °C	Sredstvo	Tvrdoća poslije kaljenja Rc	Popuštanje °C	Snižavanje tvrdoće pri popuštanju °C 100	°C 200	°C 300	Upotreba
Č.4147	OL1	0,55C 0,7Mn 0,4Cr	1 050—800	680—720	210	820—840	ulje	59	150—250	—	—	—	Alat za obradu drva: sjekire; pile, mesarski noževi; kolarski alat
Č.4148	OL2	0,80C 0,80Mn 0,50Cr	1 050—800	680—720	210	800—840	ulje	63	150—250	—	—	—	Isto te za alate više kvalitete
Č.4844	OL2 spec.	0,80C 0,55Mn 0,55Cr 0,2V	1 050—800	680—720	210	800—840	ulje	63	150—250	—	—	—	Kao gore, za alate više kvalitete
	OL3	0,9C 0,5Cr 0,2V	1 050—800	680—720	210	800—840	ulje	63	150—250	—	—	—	Isto
Č.3840	Merilo / 1.2842	0,9c 2,0Mn 0,2V	1 000—800	680—720	220	750—800	ulje	63	100—250	63	62	57	Navojni alat i mjerila, spiralna svrdla, nareznice, komplicirane patrice i matrice
Č.6440	Merilo extr. / 1.2419	1,0C 1,0Mn 1,0Cr 1,2W	1 050—850	720—750	220	780—840	ulje	63	100—200	63	61	58	Alati za mjerenje, kalibri, štance, glodala, nareznice, razvrtači, alat za obradu drva
Č.4840	Merilo spec. / 1.2063	1,4C 1,5Cr 0,2V	1 050—850	760—780	230	840—870	ulje	63	100—200	63	62	58	Alati za mjerenje, kalibri, razvrtači, tokarski noževi, kvalitetni alati općenito
Č.4150	OCR12 / (1.2080)	2,0C 12,0Cr 0,1V	1 050—850	800—820	235	940—980 kaljiv na zraku! Pažnja kod mekog žarenja	komp. zrak, ulje, ter. kupka 400°C	64	100—350	64	62	60	Alati za hladnu obradu, komplicirani alati, precizne štance, štance za Č, Ms, Cu, Ni, gumu, kožu, karton, matrice

(nastavak) Tablica 24.

Oznaka JUS	Oznaka prije adaptirana / Broj materijala	Kemijski sastav %	Kovanje %	Meko žarenje °C	Tvrdoća poslije žarenja max HB	Kaljenje °C	Sredstvo	Tvrdoća poslije kaljenja Rc	Popuštanje °C	Snižavanje tvrdoće pri popuštanju °C 100	°C 200	°C 300	Upotreba
Č.4750	OCR12 extr. / 1.2601	1,7c 12,0Cr 0,5W 0,6Mo 0,2V	termička obrada ista kao za Č.4150										Kružni noževi za hladno rezanje limova, glodala za drvo, nareznice
Č.4650	OCR12 spec. / 1.2436	2,0C 12,0Cr 0,7W 0,2V	termička obrada ista kao za Č.4150										Alati za hladnu obradu, komplicirane i precizne štance, alati većih razlika u presjecima

Čelici otporni na trošenje (habanje)

1. Oznaka, kemijski sastav, usporedba

Tablica 26.

Oznaka JUS	Oznaka prije adaptirano	Kemijski sastav u %	Zapadna Njemačka Broj materijala	Zapadna Njemačka DIN	DDR TGL	Francuska AFNOR	Italija UNI	ČSSR ČSN	SSSR GOST	Poljska PN	Madžarska MSZ
Č.3160	12Mn	1,2C 12Mn	(1.3401)	(X120 Mn12)	X120 Mn12	Z120 Mn12					
ČL.3460	12Mn CrL	1,2C 12Mn 0,8Cr									
ČL.5360	12Mn NiL	0 8C 4Ni 12Mn									
Č.3134	2Mn	0,5C 1,8Mn	1.0943	46Mn7	45Mn6				4552	40520	
ČL.3134	2MnL										
Č.4150	OCR12	20,C 0,1V 12,0Cr	(1.2080)	(X210 Cr12)	X210 Cr11	Z200 C12	UX200 C13	19436	H12	NC11	K1

2. Toplinska obrada i primjena

(nastavak) Tablica 26.

Oznaka JUS	Primjena	Toplinska obrada: Kovanje °C	Normaliziranje °C	Tvrdoća nakon normaliziranja	Žarenje °C	Tvrdoća nakon žarenja	Kaljenje °C	Sredstvo	Tvrdoća nakon kaljenja	Popuštanje °C	Tvrdoća nakon popuštanja
Č.3160	Dijelovi ležajeva, drobilice, transportni uređaji	1 050 do 850	—	—	—	—	gašenje 980 do 1 030	voda	po gašenju 80—100 kp/mm²	—	—
ČL.3160	Dijelovi ležajeva, drobilice, transportni uređaji	1 050 do 850	—	—	—	—	gašenje 980 do 1 030	voda	po gašenju 80—100 kp/mm²	—	—
ČL.5360	,,	1 050 do 850	—	—	—	—	gašenje 1 000	zrak	po gašenju 80—100 kp/mm²	—	—
Č.3134	Transportni uređaji, tračnice, srca	1 050 do 850	830 do 850	280HB	—	—	780 do 820	ulje	—	480 do 550	340 do 420HB
ČL.3134	,,	1 050 do 850	830 do 850	280HB	—	—	780 do 820	ulje	—	480 do 550	340 do 420HB
Č.4150	Forme, izrada briketa, vatrostalne opeke, keramike itd.	1 050 do 850	—	—	800 — 820	do 235HB	940 do 980	komprim. zrak, ulje, termal. kupka 400°C	64Rc	100 do 180	—

Čelici za upotrebu pri povišenim temperaturama i čelici otporni na vatru

1. Kemijski sastav i primjena

Tablica 27.

Oznaka JUS	Oznaka Prije adaptirana	Kemijski sastav %	Upotreba	Vrsta
Č.1431	Ck35	0,35C	do temperature od 350°C za prirubnice, matice i sl.	Čelici za upotrebu pri povišenim temperaturama
Č.1531	Ck45	0,45C		
Č.7100	15Mo3	0,16C 0,3Mo	za kotlovske limove, bešavne cijevi i sl.	
Č.7400	13CrMo44	0,14C 0,9Cr 0,45Mo	za kotlovske limove, cijevi (dijelov i parnih kotlova i parnih turbina)	
Č.7431	22CrMo44	0,22C 1,1Cr 0,45Mo	za dijelove parnih turbina (osovinski diskovi i dr.)	
Č.7432	24CrMo55	0,24C 1,3Cr 0,5Mo 0,2V	za dijelove parnih turbina (lopatice, osovinski diskovi i dr.)	
Č.4970	Prokron 10	0,1C 1,2Si 24,0Cr 1,5Al	do 1 100 °C, otporan na plin koji sadržava sumpor srednja sposobnost varenja (elektrolučno)	Vatrootporni čelici
Č.4578	Prokron 19	0,15C 25Cr 19,5Ni 2Si 1,5Mn	do temperature 1 200 °C nije otporan na plin koji sadržava sumpor; sposobnost varenja dobra (autogeno, elektrolučno)	
Č.4579	Prokron 20	0,15C 2Si 1,8Mn 18Cr 34Ni		

Toplinska obrada i mehanička svojstva (na sobnoj temp.) čelika za upotrebu na povišenim temperaturama

Oznaka JUS	Oznaka Prije adaptirana	Toplinska obrada: Kovanje °C	Normaliziranje °C	Meko žarenje °C	Kaljenje °C	Popuštanje °C	Mehanička svojstva pri sobnim temperaturama: Granica razvlačenja kp/mm²	Čvrstoća kp/mm²	Minimalno produženje δ_5 %	Žilavost kpm/cm²
Č.1431	Ck35	1 100÷850	—	650÷700	870÷900u	600÷680	28	50÷60	22	6
Č.1531	Ck45	1 100÷850	—	650÷700	830÷860u	530÷670	36	60÷72	18	5
Č.7100	15Mo3	1 100÷850	910÷940	—	—	—	29	45÷55	22	6
Č.7400	13CrMo44	1 100÷850	910÷940	650÷700	920÷940z	600÷700	30	45÷58	18	6
Č.7431	22CrMo44	1 100÷850	900÷930	700÷730	870÷900u	600÷680	55	70÷85	26	8
Č.7432	24CrMo55	1 100÷850	900÷930	660÷710	900÷950u	600÷680	55	70÷85	16	8

Mehanička svojstva pri povišenoj temperaturi čelika za upotrebu pri povišenim temperaturama (nastavak) Tablica 27.

Oznaka JUS	Oznaka Prije adaptirana	Granica razvlačenja kp/mm²: 200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	Vremenska čvrstoća 10 000 h kp/mm²: 350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
Č.1431	Ck35	22	21	19	17	15	—	—	25	19	10	5,4	—	—
Č.1531	Ck45	29	27	25	22	19	—	—	25	19	10	5,4	—	—
Č.7100	15Mo3	25	23	20	18	17	16	14	—	—	31	18	8	—
Č.7400	13CrMo44	28	26	24	22	21	20	18	—	—	34	24	11	5
Č.7431	22CrMo44	—	—	42	39	35	—	—	—	—	—	—	—	—
Č.7432	24CrMo55	50	48	46	44	41	38	35	—	—	41,2	26,2	14,7	—

Toplinska obrada i mehanička svojstva čelika otpornih na vatru

Oznaka JUS	Oznaka Prije adaptirana	Toplinska obrada: Kovanje °C	Žarenje °C	Mehanička svojstva pri običnoj temperaturi: Granica razvlačenja σ_R kp/mm²	Čvrstoća σ_L kp/mm²	Produženje %	Vremenska čvrstoća pri produženju 1% na 1 000 h: 600 °C	700 °C	800 °C	900 °C	1 000 °C (kp/mm²)	Linearni toplinski koeficijent rastezanja (srednji) 20 ÷ 1 000°C
Č.4970	Prokron 10	1 150÷850	750÷850	35	55÷70	10	3,0	0,8	0,3	0,08	0,03	$14 \cdot 10^{-6}$
Č.4578	Prokron 19	1 100÷900	1 050÷1 100	30	60÷75	40	10,0	4,5	2,0	0,9	0,4	$19 \cdot 10^{-6}$
Č.4579	Prokron 20	1 100÷900	1 050÷1 100	30	55÷75	25	9,4	4,0	2,0	0,9	0,4	$18 \cdot 10^{-6}$

Čelici otporni na vatru (Phönix — Rheinrohr 1964) Tablica 28.

TRGOVAČKI NAZIV (Phönix — Rheinrohr)		RHEINROHR TS 53	SICROMAL TS 57	SICROMAL 8	SICROMAL 9	SICROMAL 10	SICROMAL 11	SICROMAL 12 (≅ Prokron 10)	SICROMAL 18/8 SH	SICROMAL 20/10	SICROMAL 23/20 (≅ Prokron 19)
Oznake po DIN-u	DIN 17006	8MnTi4	8SiTi4	X10CrAl7	X10CrAl13	X10CrAl18	X20CrNiSi25 4	X10CrAl24 (≅ Č.4970)	X12CrNiTi18 9	X15CrNiSi20 12	X15CrNiSi25 20 (≅ Č.4578)
	DIN 17007	5309	5310	4713	4724	4742	4821	4762	4878	4828	4841
Kemijski sastav %	C(max)	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,15—0,25	0,12	0,15	0,20	0,20
	Si	0,15—0,40	0,7—1,1	0,5—1,0	0,9—1,4	0,7—1,2	0,8—1,3	1,2—1,5	max 1,0	1,8—2,3	1,8—2,3
	Mn	1,0—1,2	max 1,0	max 1,0	max 1,0	max 1,0	max 2,0	max 1,0	max 2,0	max 2,0	max 2,0
	Al	—	—	0,5—1,0	0,7—1,2	0,7—1,2	—	1,2—1,7	—	—	—
	Ti	min 5% C	min 5% C	—	—	—	—	—	≦0,7	—	—
	Cr	—	—	6,0—7,0	12,0—14,0	17,0—19,0	24,0—26,0	23,0—25,0	17,0—19,0	19,0—21,0	24,0—26,0
	Ni	—	—	—	—	—	3,5— 5,5	—	9,0—11,0	11,0—13,0	19,0—21,0
Lomna čvrstoća σ_L kod 20°C kp/mm²		35—45	38—48	45—60	50—65	50—65	60—75	50—65	50—75	60—75	60—75
Granica razvlačenja σ_R (min) u kp/mm² pri temperaturama	20°C	21	20	25	30	30	40	30	25	30	30
	200°C	19	17	21	24	24	31	24	17,5	18,5	18,5
	250°C	18	16	20,2	23,3	23,3	30	23,3	17	18	18
	300°C	17	15	19,5	22,5	22,5	29	22,5	16,5	17,5	17,5
	350°C	16	14	18,7	21,9	21,9	28	21,9	16	17	17
	400°C	15	13	18	21	21	27	21	15	16,5	16,5
	500°C	—	11	16	18	18	23	18	13	15	15
	600°C	—	—	11	9	9	12	9	—	13	13
	700°C	—	—	5	3	3	6	3	—	11	11
	800°C	—	—	2	1	1	3	1	—	9	9

(nastavak) Tablica 28.

Produženje δ_s % (min)		22	20	20	15	12	26	10	40	40	40
Modul elastičnosti E · 10³ kp/mm² pri temperaturama	400°C	18,5	18,5	—	—	—	—	—	—	—	—
	500°C	17,0	17,0	17	17	17	17	17	16,5	—	—
	600°C	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15	15	15
	700°C	—	—	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	14	14	14
	800°C	—	—	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	13	13	13
Pri temperaturi od 20°C: Gustoća kg/dm³		7,8	7,8	7,7	7,7	7,6	7,7	7,6	7,8	7,8	7,8
Spec. toplina kcal/kg °C		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Topl. vodljivost kcal/m·h·°C		43	40	19,4	17,6	16,2	14,4	14,4	12,0	12,0	12,0
Spec. el. otpor Ohm·mm²/m		0,23	0,30	0,69	0,79	0,93	0,80	1,10	0,73	0,85	0,95
Koeficijent dilatacije između 20°C i temp. 10^{-6}/°C		400°C 13,5	400°C 13,5	400°C 12,0	400°C 11,5	400°C 11,5	400°C 13,5	400°C 11,0	400°C 18,0	400°C 17,5	400°C 17
		500°C 13,9	500°C 13,9	800°C 13,0	800°C 12,5	800°C 12,5	800°C 14,5	800°C 12,5	800°C 19,0	800°C 18,5	800°C 18
		600°C 14,1	600°C 14,1		1 000°C 13,5	1 000°C 13,5	1 000°C 15,0	1 000°C 14,0		1 000°C 19,5	1 000°C 19
			700°C 14,2				1 600°C 15,5	1 200°C 15,0			1 200°C 19,5

Brzorezni čelici

Tablica 29.

Oznaka	DIN 17007	Kemijski sastav u %							
		C	Si	Mn	Co	Cr	Mo	V	W
E18Co10	3265	0,72—0,80	~0,25	~0,25	9,0—10,0	4,0—4,5	0,7—1,0	1,4—1,7	17,5—18,5
E18Co5	3255	0,75—0,83	~0,25	~0,25	4,5— 5,0	4,0—4,5	0,50—0,80	1,4—1,7	17,5—18,5
ECo3	3211	0,87—0,95	~0,25	~0,25	2,3— 3,0	3,5—4,0		1,9—2,2	9,3—10,0
EV4Co	3202	1,30—1,40	~0,25	~0,25	4,5— 5,0	4,0—4,5	0,70—1,0	3,5—4,0	11,5—12,5
B18	3355	0,70—0,80	~0,25	~0,25		3,8—4,3		1,0—1,2	18,0—19,0
D	3318	0,82—0,90	~0,25	~0,25		3,5—4,0		2,5—2,7	9,3—10,0
ABC II	3316	0,78—0,85	~0,25	~0,25		3,5—4,0		1,8—2,0	7,5— 8,0
EV 4	3302	1,25—1,35	~0,25	~0,25		4,0—4,5		3,5—4,0	10,0—11,0
ABC III	3333	0,92—0,98	~0,25	~0,25		3,8—4,3	2,5—2,8	2,2—2,5	2,7— 3,0
ABC III W1	3335	0,92—0,98	~0,25	~0,25		3,5—4,0	2,2—2,5	2,2—2,5	1,2— 1,5

Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C	Meko žarenje °C	Temperatura kaljenja °C		Ohlađivanje	Popuštanje kod °C	Primjena
			za dlijeta	za svrdla, glodala			
E18Co10	1 150—900	800—850	1 290—1 320	1 260—1 290	ulje ili komprimirani zrak	570—590	Za vrlo žilave i tvrde čelike
E18Co5	1 150—900	800—850	1 280—1 310	1 250—1 280	,,	560—580	Za alate koji se teško oblikuju
ECo3	1 150—900	800—850	1 250—1 280	1 220—1 250	,,	550—570	Za sve radove, osobito šropanje
EV4Co	1 150—900	800—850	1 250—1 280	1 220—1 250	,,	550—570	Čelik za šiljke
B18	1 150—900	800—850	1 260—1 300	1 230—1 260	,	550—570	Neosjetljiv — žilav — za udarna opterećenja
D	1 150—900	800—850	1 250—1 280	1 220—1 250	,,	550—570	Alati za rezanje čelika visoke žilavosti
ABC II	1 150—900	800—850	1 250—1 280	1 220—1 250	,,	550—570	Alatni čelik za uobičajene zahtjeve
EV4	1 150—900	800—850	1 250—1 280	1 220—1 250	,,	550—570	Alati za glačanje i za automate
ABC III	1 100—900	740—780	1 210—1 240	1 200—1 220	,,	540—560	Opća primjena

Domaći specijalni čelici otporni protiv kemijskih utjecaja

Sastav i mehanička svojstva[1])

Tablica 30.

Oznaka		Sastav %				Granica razvlačenja kp/mm²	Čvrstoća na vlak kp/mm²	Produženje δ_5 %
po JUS-u	stara domaća	C	Cr	Ni	Si Mo	ostalo			
Č.4170	Prokron 1	0,10	13,0				45	60— 75	18
Č.4171	Prokron 2	0,15	13,1				50	70— 85	16
Č.4172	Prokron 3	0,25	13,5	+Ni			55	75—140	21—8
Č.4173	Prokron 4	0,35	13,5	+Ni			—	80—140	18—8
Č.4570	Prokron 2 spec.	0,15	16,0				60	80— 95	14
Č.4571	Prokron 11	0,10	18,0	8,0			25	60— 75	50
Č.4572	Prokron 11 spec.	0,10	18,0	8,0		1,0Ti	25	60— 75	50
Č.4573	Prokron 12	0,10	18,0	8,0	1,6Mo		26	80— 75	50
Č.4574	Prokron 12 spec.	0,10	18,0	8,5	1,6Mo	0,5Ti	26	60— 75	50
Č.4578	Prokron 19	0,15	24,0	19,0	2,0Si	1,5Mn	27	60— 75	30
Č.4579	Prokron 20	0,15	18,0	34,0	2,0Si	1,8Mn	30	55— 75	25
Č.4770	Prokron 5	0,45	13,5	+Ni	+Mo		60	80—100	18—11
Č.4970	Prokron 10	0,10	24,0		1,2Si	1,5Al	35	55— 70	10

[1]) Kod čelika od Č.4170 do Č.4570 i Č.4770 u poboljšanom stanju, kod austenitnih čelika od Č.4571 do Č.4579 u gašenom stanju, kod feritnog čelika Č.4970 u žarenom stanju.

Čvrstoća pri višim temperaturama

Oznaka	Čvrstoća u kp/mm² — kod °C								
	20	100	200	300	400	500	600	700	800
Č.4171	75	70	65	60	55	50	34	24	6,5
Č.4172	75	70	65	60	55	50	34	24	6,5
Č.4173	80	76	71	68	63	60	38	22	12
Č.4570	75	70	65	60	55	50	34	24	6,5
Č.4571	66	55	48	45	44	41	—	—	—
Č.4770	80	76	71	68	63	60	39	24	14
Č.4970	55	51	48	—	46	—	24	—	6

Toplinska obrada

Oznaka	Kovanje °C[1])	Žarenje °C	Kaljenje °C[2])	Popuštanje °C[3])
Č.4170	1 100—850	700—750	950—1 030	600—700
Č.4171	1 100—850	740—760	950—1 030	600—700
Č.4172	1 100—900	750—800	950—1 050	150—400
Č.4173	1 100—900	750—800	950—1 050	150—400
Č.4570	1 100—850	650—700	1 000—1 030	600—700
Č.4770	1 100—900	750—800	950—1 050	150—400

[1]) Polagano grijati i polagano hladiti. — [2]) Kaljenje u ulju. — [3]) Temperaturne boje popuštanja za ove čelike ne vrijede.

Austenitne čelike (Č.4571 do Č.4579) kujemo kod 1 100—900 °C, a gasimo kod 1 100 °C u vodi. Feritni čelik Č.4970 kujemo kod 1 100—850°C, a žarimo kod 750—850°C.

Najbliži strani ekvivalenti AISI-nerđajućim čelicima

Tablica 31.

Oznaka										
Američka	Britanska	Francuska	Njemačka	Talijanska	Švedska	Sovjetske oznake			Japanske	Broj materijala
						GOST brojčana oznaka	GOST simbolna oznaka	Ranija institutska		
AISI	En	AFNOR	VD Eh	UNI	SIS				JIS	
301		Z12CN18 8	X12CrNi17 7	X15CN17 07	2330 2331	—	X 17H8	—	SUS39	1.4310
302	58A	Z12CN18 10	X12CrNiS18 8	X15CN18 08	2330 2331	— — 5632—51°	1X 17H9 X 18H9 X18H9	— Я—1 Я—1	SUS40	1.4300
302B						4542—54′ —	— 0X18H9C2	ЭИ 543 ЭИ 647		1.4330
303	58M		X12CrNiS18 8							1.4305
304	58E	Z6CN18 10	X5CrNi 18-9	X8CN 19 10	2332	5632—51° 5632—51° 4176—53′	0X18H9 0X18H9 0X18H11	ЭЯ-0 Я-0	SUS27	1.4301
304L		Z3CN18 10		X3CN 19 11		—	X18H8	—	SUS28	(1.4404)
309	55	Z15CNS25 13	X15CrNiSi 20 12	X20CN 24 12		5632—51° 5632—51°	X23H13 X25H15	ЭИ319 ЭИ319		1.4828
309S									SUS41	(1,4541)
310		Z15CNS25 20	X15CrNiSi 25 20	X25CN 25 20	2361	—	X25H20	ЭИ332		1.4841
310S									SUS42	
314			X15CrNiSi 25 20		2361					1.4841

(nastavak) Tablica 31.

Oznaka										
Američka	Britanska	Francuska	Njemačka	Talijanska	Švedska	Sovjetske oznake			Japanske	Broj materijala
						GOST brojčana oznaka	GOST simbolna oznaka	Ranija institutska		
AISI	En	AFNOR	VD Eh	UNI	SIS				JIS	
316	58H 58J	Z6CND18 12	X5CrNiMo 18 12	X8CND17 12	2342	— 5216—55′ 4270—53°	X18H9M — —	ЭИ183 ЭИ400 ЭИ689	SUS32	1.4436
316L		Z3CND18 12	X3CrNiMo 18 13						SUS33	(1.4404)
317	58J		X5CrNiMo 17 13							1.4449
318*		Z8CNDNb 18 12	X10CrNiMoNb18 12		2343	5001—55° —	1X16H13M2B 1X16H13M3B	ЭИ405 ЭИ592		1.4583
321	58B 58C	Z10CNT 18 10	X10CrNiTi 18 9	X8CNS 18 10	2333 2334	5632—51° 5632—51° 5632—51°	X18H9T 1X18H9T 1X18H9T	ЭЯ—Т ЭЯ—1Т Я—1Т	SUS29	1.4541
330*		Z20NC 36 18				— — —	X15H35 2X15H35 3X15H35	ЭИ612 — —		
347	58F 58G	Z10CNNb 18 10	X10CrNiNb 18 9	X8CNNb 18 11	2333 2334	5050—55′ 5632—51° 5216—54′ 5632—51°	0X18H9Б X18H11Б X18H11Б X18H11Б 0X18H9БС	ЭИ506 ЭИ398 ЭИ402 ЭЯ1Nb —	SUS43	1.4550

Primjedba: Stranih ekvivalenata za AISI nerđajuće čelike 303Se, 305, 308, 348 nema.
* Nije standardiziran ° Standard za čitav SSSR Sovjetsko ministarstvo za metalurgiju.
c Industrijska metalurškotehnička oznaka.

Nerđajući čelici

Tablica 32.

Oznaka prema DIN		Kemijski sastav u %										
17006	17007	C	Si	Mn	Al	Cr	P+S	Ni	Ti	Mo	Nb	Cu
X7CrAl13	4002	≤0,08	≤1,0	≤1,0	0,10—0,30	12,0—14,0	~0,05					
X8CrTi17	4510	≤0,10	≤1,0	≤1,0		16,0—18,0			≥7 XC%			
X5CrNi18 9	4301	≤0,07	≤1,0	≤2,0		17,0—20,0	~0,05	9,0—11,5				
X2CrNi18 9	4306	≤0,03	≤1,0	≤2,0		17,0—20,0		10,0—12,5				
X10CrNiTi18 9	4541	≤0,10	≤1,0	≤2,0		17,0—19,0		9,0—11,5	≥5 XC%			
X10CrNiNb18 9	4550	≤0,10	≤1,0	≤2,0		17,0—19,0		9,0—11,5			≥8 XC%	
X5CrNiMo17 13	4449	≤0,07	≤1,0	≤2,0		16,0—18,0		12,5—14,5		4,0—5,0		
X10CrNiMoTi18 10	4571	≤0,10	≤1,0	≤2,0		16,5—18,5		10,5—13,5	≥5 XC%	2,0—2,5		
X10CrNiMoNb18 10	4580	≤0,10	≤1,0	≤2,0		16,5—18,5		10,5—13,5		2,0—2,5	≥8 XC%	
X5CrNiMoCuTi18 18	4506	≤0,07	≤1,0	≤2,0		16,5—18,5		19—21	≥5 XC%	2,0—2,5		1,8—2,2

Mehanička svojstva

(nastavak) Tablica 32.

Oznaka po DIN 17006	δ_5 %	σ_L kp/mm²	σ_R kp/mm² pri temperaturi °C												Udarna žilavost kpm/cm²
			20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	
X7CrAl13	18—20	45—70	25	24,5	24	23,5	23	23	22,5	21,5	20	→ žareno			12 pobolj.
X8CrTi17	20	45—60	27	26	25	24	23,5	23	22,5	22	21	—	—	—	
X5CrNi18 9	50	50—70	19	18	16	14,5	13	12	11	10,5	10	—	—	—	20
X2CrNi18 9	50	45—70	18	17	15	13,5	12	11	10	9,5	9	—	—	—	20
X10CrNiTi18 9	40	50—75	21	19,5	18	17	16	15	14	13,5	13	12,5	12	12	15
X10CrNiNb18 9	40	50—75	21	19,5	18	17	16	15	14	13,5	13	12,5	12	12	15
X5CrNiMo17 13	45	50—70	21	20	18	16,5	15	14	13	12,5	12	—	—	—	20
X10CrNiMoTi18 10	40	50—75	23	21	19	18	17	16	15	14,5	14	13,5	13	13	15
X10CrNiMoNb18 10	40	50—75	23	21	19	18	17	16	15	14,5	14	13,5	13	13	15
X5CrNiMoCuTi18 18	40	55—75	23	21	19	17	15,5	15	14	13,5	13	—	—	—	15

Ferolegure

Oznake i kemijski sastav (%) Tablica 33.

NAZIV FEROLEGURE	1) do 15) Oznaka	W	Mn	Si	Al	Fe	Cu	C
Metalurški mangan[1]	Mn00		99,95					0,02
	Mn0		99,70					0,50
	Mn1		95,0	0,8		2,1		0,10
	Mn2		93,0	1,0		3,0		0,20
	Mn3		91,0	3,5	1,0	2,0	2,5	0,12
	Mn4		88,0	4,0	1,5	3,0	4,0	0,15
Metalurški krom[2]	Cr0a			0,4	0,5	0,6	0,06	0,03
	Cr1a			0,5	0,7	0,8	0,06	0,05
	Cr2a			0,5	0,8	1,2	0,1	0,06
Silikokalcij[3]	CaSi0				1,5			
	CaSi1				2,5			
	CaSi2				3			
Silikomangan[4]	SiMn20		65,0	≤20,0				1,0
	SiMn17		65,0	17—19,9				1,7
	SiMn14		65,0	14—16,9				2,5
Ferovanadij[5]	V1			2,0	1,0			0,75
	V2			3,0	1,5			0,75
	V3			3,5	2,0			1,00
Ferovolfram[6]	W0	80	0,2	0,3			0,1	0,2
	W1	70	0,2	0,4			0,15	0,2
	W2	70	0,4	1,0			0,20	0,7
	W3	65	0,5	1,5			0,30	0,8
Ferovolfram s molibdenom[7]	W1a	75	0,3	1,0	1,0		0,25	0,2
	W2a	75	0,5	2,0	2,0		0,30	0,3
	W3a	55	0,5	1,3	1,0		0,30	0,5
Feromangan niskougljični[8]	Mn0		80,0	2,0				0,5
Feromangan srednjeugljični[8]	Mn1		80,0	2,0				1,0
	Mn2		80,0	2,5				1,5
Feromangan ugljični[8]	Mn3		78,0	2,0				7,0
	Mn4		76,0	2,0				7,0
	MnNK		78,0	1,0				7,0
Feromangan za visoke peći[9]	Mn5		75,10	2,0				
	Mn6		70—75	2,0				
	Mn7		70—75	1,0				
Feromolibden[10]	Mo1			1,0			0,8	0,10
	Mo2			1,5			1,5	0,15
	Mo3			2,0			2,5	0,20
Ferosilicij za visoke peći[11] (ingoti)	Si90		0,5	87—95				
	Si75		0,7	74—80				
	Si45		0,8	40—47				
	Si25		1,5	23—30				
	Si18		2,0	17—22				
Ferosilicij metalurški[12] (ingoti)	Si15		3,00	≥13,10				
	Si10		3,00	9—13				

(nastavak) Tablica 33.

P	S	Cr	Ca	Zn	Sb	Pb	Mo	Ti	Bi	As	V	Ca + Si	Cr/Ti	Al/Ti
0,005	0,01					ukupno primjesa			0,05					
0,01	0,10					,,	,,		0,30					
0,05						,,	,,		5,00					
0,07						,,	,,		7,00					
0,45						,,	,,		9,00					
0,50						,,	,,		12,0					
0,02	0,02	98,5												
0,03	0,04	98,0												
0,05	0,05	97,0												
0,05	0,04		31									90		
0,05	0,04		28									90		
0,05	0,04		23									85		
0,1														
0,1														
0,2														
0,10	0,10									0,05	35,0			
0,20	0,10									0,05	35,0			
0,25	0,15									0,05	35,0			
0,03	0,05			0,05	0,04	0,04			0,04	0,04				
0,04	0,08			0,10	0,08	0,05			0,05	0,05				
0,05	0,10			0,15						0,08				
0,10	0,20			0,25						0,08				
0,04	0,04			0,10			2—6			0,05				
0,05	0,08			0,15			2—6			0,08				
0,06	0,08			0,15			2—6			0,08				
0,30	0,03													
0,30	0,03													
0,30	0,03													
0,33	0,03													
0,38	0,03													
0,33	0,03													
0,35	0,03													
do	0,03													
0,45	0,03													
0,10	0,10			0,05	0,05		55,0							
0,15	0,15			0,08	0,08		55,0							
0,20	0,20			0,10	0,10		55,0							
0,04	0,03	0,2												
0,05	0,03	0,5												
0,05	0,03	0,5												
0,06	0,04	Nestan-dardi-zirano												
0,10	0,04													
0,20	0,04													
0,20	0,04													

Oznake i kemijski sastav (%) [1] do 15) (nastavak) Tablica 33

Naziv ferolegure		1) do 15) Oznaka	W	Mn	Si	Al	Fe	Cu	C
Ferokrom[13])	s tragovima ugljika	Cr0000			niski				0,06
		Cr000			1,0 srednji				0,07—0,1
		Cr00			1,5				0,11—0,15
	niskougljični	Cr0			niski 1,5				0,16—0,25
		Cr01			srednji 2,0 visoki 3				0,26—0,50
	srednjougljični	Cr1			—				0,51—1
		Cr2			srednji 2,5				1,1—2,0
		Cr3			visoki 3,0				2,1—4,0
	ugljični	Cr4			niski 2				4,1—6,5
		Cr6			srednji 3 visoki 5				6,6—8,0
Zrcalni liv (ingot)[14])		ZL1		20,1—25,0	2,00				
		ZL2		15,1—20,0	2,00				
		ZL3		10,0—15,0	2,00				
Ferotitan[15])		Ti0				Vidi		3,0	0,15
		Ti1				omjer		3,0	0,15
		Ti2				Al/Ti		4,0	0,20

[1]) GOST 6008—51
[2]) GOST 5905—51
[3]) GOST 4762—49
[4]) GOTS 4756—49
[5]) GOST 4760—49
[6]) GOST 5165—55
[7]) GOST 5199—50
[8]) GOST 4755—49
[9]) GOST 5165—49

P	S	Cr	Ca	Zn	Sb	Pb	Mo	Ti	Bi	As	V	Ca+Si	Cr/Ti	Al/Ti
0,06	0,04	65												
0,06	0,04	65												
0,06	0,04	60,0												
0,06	0,04	60,0												
0,06	0,04	60,0												
0,10	0,04	60,0												
0,10	0,04	60,0												
0,10	0,04	60,0												
0,07	0,04	65,0												
0,07	0,04	65,0												
0,22	0,03													
0,20	0,03													
0,18	0,03													
0,05	0,05	Vidi						25,0					0,18	0,25
0,05	0,05	omjer						23,0					0,20	0,27
0,08	0,08	Cr/Ti						23,0					0,28	0,40

[10]) GOST 4759—49
[11]) GOST 1415—61
[12]) GOST 5163—49
[13]) GOST 4757—49
[14]) GOST 5164—49

Napomena: Gornje su oznake transkribirane iz GOST-standarda

Hladno valjane čelične trake iz niskougljičnog čelika

1—Stupnjevi tvrdoće i mehaničke osobine Tablica 34.

Stupanj tvrdoće		Lomna čvrstoća σ_L kg/mm²	Produženje δ_{10} %	Karakteristika
Naziv	Oznaka			
Meko žarena	HT28	28—40	≧25	Veoma plastična, neelastična, prikladna za duboko izvlačenje i savijanje; najmekša u debljinama od 0,30 mm i više, pri odvijanju koluta rado kleca.
Ojačana	HT30	30—42	≧23	Meka, plastična, malo elastična, prikladna za duboko izvlačenje, utiskivanje i savijanje; slična je meko žarenoj traci; u manjim debljinama može se ravnati bez pojave klecanja.
1/8 tvrda	HT32	32—44	~16	Prilično plastična, nešto elastična, prikladna za izvlačenje, utiskivanje i savijanje; u većim debljinama već se može ravnati i bez pojave klecanja.
1/4 tvrda	HT40	40—50	~10	Nešto plastična, prilično elastična, prikladna za plitko izvlačenje i savijanje; upotrebljiva za prosijecanje (štancanje).
1/2 tvrda	HT45	45—50	~ 5	Malo plastična, dosta elastična, ograničeno upotrijebljiva za izvlačenje i savijanje; dobra za prosijecanje.
3/4 tvrda	HT55	55—65	~ 3	Elastična, prikladna za prosijecanje ravnih dijelova.
Tvrda	HT60	≧60	~ 2	Elastična, prikladna za prosijecanje ravnih dijelova.
Svijetlo tvrda	HTST			Hladno valjana, direktno iz sirovog materijala bez konačnog žarenja. Mehaničke osobine ovise o odnosu debljina i nisu obvezatne. Stvarno zatezna čvrstoća varira od 45 kg/mm² naviše.

2—Stupnjevi prerade, nazivi, i karakteristike površine

Stupanj prerade		Površina	
Naziv	Oznaka	Naziv	Karakteristike
Sve trake osim žarenih	HT30 HT60	normalna	Svijetla i glatka površina uslijed hladnog valjanja. Dopuštene su eventualne pore te pojedina tamna i nečista mjesta.
Žarene	HT28	svijetlo žarena	Svijetla i glatka površina. Dopuštena je tamnija površina prvih unutrašnjih i vanjskih zavojaka, kao i pojedinih mjesta na ivicama.
Žarene	HT28	modro žarena	Površina je modrosivo-oksidne boje. Dopuštena su pojedina svijetla mjesta na unutrašnjim zavojima, kao i deblji oksidni sloj na ivicama i krajnjim zavojcima.
Sve trake od 1/8 tvrde do svijetlo tvrde	HT32 HTST	sjajno svijetla	Površina bez pora, risova i tamnih mjesta, jednolikog sjaja koji se postiže posebnom pažnjom pri valjanju i poliranjem površine. To stanje se određuje dogovorom između naručioca i proizvođača. Obično se proizvode trake u debljinama do 0,5 mm.
Sve trake od 1/4 tvrde do svijetlo tvrde	HT40 HTST	specijalno obrađena	Površina bez pora, bez ogrebotina, očišćena od masti i mehanički obrađena (brušena, polirana, itd.). Izrađuje se po dogovoru.
Sve trake od žarenih do svijetlo tvrdih	HT28 HTST	prevučena metalnom prevlakom	Uobičajeno je poolovljavanje, koje se obavlja termičkim putem. Dopuštena su mjestimična mala odebljanja i neravnine olovne prevlake, uz uvjet da ne utječu na upotrijebljivost.

Profili, šipke i žica

Svojstva Al-slitina prema stanju materijala — Tablica 35.

Oznaka osnovnog materijala	Stanje materijala[1] Naziv	Površina presjeka (mm^2)	Lomna čvrstoća σ_L min kp/mm^2	Granica razvlačenja $\sigma_{0,2}$ min kp/mm^2	Produženje % min δ_{10}	Produženje % min δ_5	Tvrdoća[2] HB min kp/mm^2
AlMn1	vučeno	sve	10	5	12	14	25
	prešano	sve					
	meko	do 2 000	9	4	15	17	25
	polutvrdo	do 1 000	12	10	5	7	35
	tvrdo	do 500	15	12	3	4	45
AlMg2	vučeno	sve	12	6	12	14	25
	prešano	sve	11	5	15	17	25
	meko	do 2 000	15	8	6	7	35
	polutvrdo	do 1 000	18	12	4	5	50
	tvrdo	do 500					
AlMg3	vučeno	sve	18	8	15	17	45
	prešano	sve	17	7	15	18	40
	meko	do 2 000	22	14	8	10	65
	polutvrdo	do 2 000	25	18	4	5	75
	tvrdo	do 1 000					
AlMg4	1/4 tvrdo	do 200	23	12	15	17	
AlMg5	vučeno	sve	24	10	10	12	55
	prešano	sve					
	meko	do 2 000	22	9	15	17	50
	polutvrdo	do 2 000	26	14	6	8	70
	tvrdo	do 1 000	30	20	3	4	80
AlMg1Si1	vučeno	sve	13	9	10	12	40
	prešano	sve					
	meko	sve	11	5	14	16	35
	kaljeno prirodno dozrelo	do 5 000	20	10	10	12	60
		do 2 000	28	18	10	12	75
	kaljeno umjetno dozrelo	iznad 2 000 do 5 000	25	15	8	10	70
AlMg1SiCu	vučeno	sve	13	9	10	12	40
	prešano	sve					
	meko	sve	11	5	14	16	35
	kaljeno prirodno dozrelo	do 5 000	20	11	10	12	65
	kaljeno umjetno dozrelo	do 5 000	28	22	8	10	80
AlCu3Mg	kaljeno prirodno dozrelo	do 250	26	15	17	18	70
AlCu5Mg1	vučeno	sve	18	8	8	10	max 70
	prešano	sve					
	kaljeno prirodno dozrelo	do 2 000 uključivo	40	26	10	12	100
		2 000 do 12 000	35	22	8	10	90
AlCu5Mg2	kaljeno prirodno dozrelo	do 2 000 uključivo	44	28	8	10	110
		2 000 do 12 000	42	25	6	8	100
AlCu6Pb	kaljeno hladno očvrsnuto	do 1 200 uključivo	31	26	8	10	80
		1 200 do 2 000	30	23	10	12	75
	kaljeno hladno umjetno dozrelo	2 000 do 4 500	28	20	12	14	75
		do 5 000	36	28	10	12	95
AlZn5Mg3	umjetno dozrelo	do 2 000	46	39	6	7	10
		iznad 2 000	44	35	7	8	120
AlZn5Mg3Cu2	meko umjetno dozrelo	sve do 5 000	28 max 53	46	10 6	12 7	140

[1] Navedeni termini za stanje materijala su privremeni. Za oznake i termine stanja materijala vrijedi standard JUS C.B0.003 (u pripremi). [2] Navedene vrijednosti tvrdoće samo su informativne.

Limovi i trake od Al-slitina

Mehanička svojstva prema stanju materijala (JUS C.C4.120) — Tablica 36.

Oznaka osnovnog materijala	Stanje materijala Naziv	Debljina mm	Lomna čvrstoća σ_L kp/mm^2 (min)	Granica razvlačenja $\sigma_{0,2}$ min kp/mm^2	Produženje % min δ_{10}	Produženje % min δ_5	Tvrdoća HB min kp/mm^2	Smjernice za upotrebu
AlMn1	valjano	sve	9	4	20	22	25	Legura dobre otpornosti prema koroziji za arhitekturu, gradevinstvo i kemijsku industriju, za anodnu oksidaciju i za zavarivanje
	meko	do 10	12	10	5	6	35	
	polutvrdo	do 10	15	12	3	3	40	
	tvrdo	do 6						
AlMg2	valjano	sve	13	5	15	17	30	Legura odlične kemijske postojanosti za nešto opterećenije dijelove konstrukcija; za brodogradnju, arhitekturu, kemijsku i prehrambenu industriju, za anodnu oksidaciju, za zavarivanje, za zakovice
	meko	do 10	17	10	5	6	40	
	polutvrdo	do 10	20	17	3	4	55	
	tvrdo	do 6						
AlMg3	valjano	sve	18	8	15	17	45	
	meko	do 10	23	14	8	9	65	
	polutvrdo	do 6	26	18	3	4	75	
	tvrdo	do 6						
AlMg5	valjano	sve	24	11	15	17	55	
	meko	do 10	28	18	8	9	75	
	polutvrdo	do 6	32	24	3	4	90	
	tvrdo	do 6						
AlMg1Si1	valjano	sve	11	5	15	18	35	
	meko	do 10	17	10	3	4	55	
	tvrdo	do 6						
AlMg1Si1	kaljeno i prirodno dozrelo	do 20 uključivo	20	10	12	14	60	Legura dobre kemijske postojanosti za osrednje napregnute konstrukcije, za dekorativne svrhe, za zakovice
		20 do 40	20	10	10	12	60	
	kaljeno i umjetno dozrelo	do 20 uključivo	28	18	10	12	80	
		20 do 40	26	18	8	10	80	

Mehanička svojstva prema stanju materijala (JUS C.C4.120) (nastavak) Tablica 36.

Oznaka osnovnog materijala	Stanje materijala	Debljina mm	Lomna čvrstoća σ_L kp/mm² (min)	Granica razvlačenja $\sigma_{0,2}$ min kp/mm²	Produženje % min δ_{10}	Produženje % min δ_5	Tvrdoća HB min kp/mm²	Smjernice za upotrebu
AlMg1SiCu	valjano meko	sve	15 max	9 max	12	14		Legura srednje čvrstoće za dekorativne svrhe (za građevinski okov, namještaj i slično)
	kaljeno i prirodno dozrelo	sve						
	kaljeno i umjetno dozrelo	do 40	21	11	12	14		
		do 40	29	24	7	8		
AlCu5Mg1	valjano meko	sve	25 max	14 max	12	15	60 max	Za izradbu jako napregnutih konstrukcija
	tvrdo	do 6	28	22	2	3	75	
	kaljeno i prirodno dozrelo	do 6 uključivo	40	27	14	16	100	
		6 do 10 uključivo	39	25	13	15	90	
		10 do 20 uključivo	38	24	12	14	90	
		20 do 40	36	22	10	11	90	
AlCu5Mg2	valjano kaljeno i prirodno dozrelo	sve	44	29	10	12	110	
		do 6 uključivo	42	27	9	11	100	
		6 do 10 uključivo	40	26	8	10	100	
		do 6						
	kaljeno i hladno očvrsnuto	do 6	45	32	2	3	120	
AlZn5Mg3	prirodno dozrelo	do 55	40	26	12	15	110	Legure za jako napregnute konstrukcije; za avijaciju, građevinastvo i slično
	umjetno dozrelo	do 25	44	35	8	9	120	
AlZn5Mg3Cu2	meko kaljeno i umjetno dozrelo	do 50	28	14	10	18	70	
		do 50	52	44	5	7	140	

Dopuštena naprezanja za lijevane i konstrukcijske čelike

Tablica 37.

Oznaka po JUS	kp/mm² — pri sobnoj temperaturi					
	σ_R	σ_L	σ_{DI}	σ_{dop}		
				I[1])	II[2])	III[3])
Sivi liv (JUS C.J2.020) — neobrađen						
SL00	—	12—14	5— 7	4— 5	3— 4	2,5— 3
SL14	—	11—18	6— 8	4— 5,5	3— 4,5	2,5— 3
SL18	—	15—12	7—10	5— 6	4— 5,5	2,5— 3,5
SL22	—	19—26	8—12	6— 8	5— 7	3 — 4,5
SL26	—	23—28	10—14	8—10	6— 8	4 — 6
SL30	—	25—30	11—16	8—11	6,5—9	4 —7
Kovkasti liv (JUS C.J2.021)						
CTeL35	—	35—38	8—11	7—8,5	4—6	3 —4
CTeL38	20—24	38—40	10—13	8—10	5—7,5	3,5—5
BTeL35	—	32—36	11—14	8—11	5—8	4 —5
BTeL40	20—24	38—41	13—17	9—12	6—9	4,5—6
Čelični liv (JUS C.J3.011) normalno žaren						
ČL0300	18—23	38—45	16—19	10—13	8—11	5— 7,5
ČL0400	22—28	45—52	18—22	11—16	9—12	6— 8,5
ČL0500	25—32	52—60	20—24	13—18	10—13	7— 9,5
ČL0600	28—36	60—70	22—26	14—20	11—15	8—11
Ugljični konstrukcijski čelici (JUS C.B0.500) normalno žareni						
Č.0245	20—23	34—42	16—20	11—13	9—12	7,5— 9,5
Č.0345	22—25	37—45	17—20	12—14	10—13	8 —10
Č.0445	24—28	42—50	19—25	13—15	11—14	9 —11
Č.0545	28—34	50—60	22—27	15—18	12—16	9,5—12
Č.0645	32—38	60—70	28—33	18—21	15—18,5	10,5—14
Č.0745	34—42	70—85	30—38	21—25	16—20	11,5—17
Č.0560	34—42	50—64	30—35	18—21	14—18	11 —15

Naprezanja

1 — Pri mirujućem opterećenju
2 — Pri kolebanju opterećenja između maksimalne vrijednosti i nule
3 — Pri kolebanju opterećenja između pozitivne i negativne maksimalne vrijednosti

Dopuštena naprezanja kod čelika za cementiranje i čelika za poboljšanje

Tablica 38.

Oznaka po JUS	σ_R	σ_L	σ_{DI}	σ_{dop}		
				I[1]	II[2]	III[3]
kp/mm² — pri sobnoj temperaturi						
Čelici za cementiranje (JUS C.B9.020) — nakon kaljenja (Podaci vrijede za svojstva jezgre te debljine epruvete 15—40 mm)						
Č.1120	25—30	42—52	22—28	11—15	9—12	7— 9
Č.1121	25—30	42—52	22—28	11—15	9—12	7— 9
Č.1220	30—36	50—65	25—30	14—17	12—15	9—11
Č.1221	30—36	50—65	25—30	14—17	12—15	9—11
Č.4120	40—60	60—85	30—36	20—26	14—20	12—17
Č.4320	60—80	80—110	32—40	30—36	23—32	15—22
Č.4321	70—95	100—130	35—42	32—42	26—36	18—24
Č.4720	60—75	85—110	32—40	30—36	23—32	15—22
Č.4721	75—95	110—145	36—46	32—42	25—35	16—25
Č.5420	65—80	90—120	32—42	30—38	24—33	16—23
Č.5421	80—100	120—145	40—48	34—44	27—37	19—26
Čelici za poboljšanje (JUS C.B9.021) — poboljšani						
Č.1330	30— 38	50— 65	22—27	14—17	12—15	9—11,5
Č.1331	30— 38	50— 65	22—27	14—17	12—15	9—11,5
Č.1430	33— 45	55— 80	27—32	17—20	13—17	10—12,5
Č.1431	33— 45	55— 80	27—32	17—20	13—17	10—12,5
Č.1530	36— 50	60— 85	30—34	19—22	15—20	11—15
Č.1531	36— 50	60— 85	30—34	19—22	15—20	11—15
Č.1730	44— 60	70—100	34—40	22—26	17—24	13—17
Č.1731	44— 60	70—100	34—40	22—26	17—24	13—17
Č.3130	50— 65	75—100	36—48	26—33	20—26	16—23
Č.3131	42— 55	65— 80	32—40	23—28	18—40	14—20
Č.3230	55— 85	80—115	38—50	28—35	22—28	18—25
Č.3830	70— 95	90—125	45—58	32—40	26—32	21—28
Č.4130	55— 80	80—105	40—50	28—35	22—28	18—25
Č.4131	55— 80	80—110	40—50	30—36	23—29	20—25
Č.4730	45— 70	70—105	32—40	21—27	15—20	13—18
Č.4731	55— 80	80—110	38—48	26—33	20—25	17—23
Č.4732	65— 90	95—120	46—55	30—38	23—28	20—26
Č.4733	70— 95	100—135	50—58	32—38	23—28	21—26
Č.4734	80—110	110—145	52—65	32—40	24—30	22—28
Č.4830	65— 95	50—125	45—58	31—38	25—30	20—27
Č.5430	65 —90	95—120	48—58	30—38	23—28	20—26
Č.5431	70— 95	100—135	50—60	32—38	24—28	21—26
Č.5432	80—110	110—145	52—62	32—40	25—30	22—28

Naprezanja

[1] — Pri mirujućem opterećenju

[2] — Pri kolebanju opterećenja između maksimalne vrijednosti i nule

[3] — Pri kolebanju opterećenja između pozitivne i negativne maksimalne vrijednosti

Dopuštena naprezanja kod čelika za opruge i nekih obojenih metala

Tablica 39.

Oznaka po JUS*	σ_R	σ_L	σ_{DI}	σ_{dop}		
				I[1]	II[2]	III[3]
kp/mm² — pri sobnoj temperaturi						
Čelik za opruge (JUS C.B0.551) — poboljšani						
Č.2132	110—140	130—150	55—65	72—88	42—50	30—38
Č.2133	110—140	130—150	55—65	72—88	42—50	30—38
Č.2134	120—150	145—160	55—70	75—90	42—52	32—40
Č.4830	120—160	135—170	58—70	75—90	42—52	32—40
Aluminijske ljevačke slitine (JUS C.C2.300)						
P.AlSi12	7— 9	14—20	6— 9	4—7	3—6	2—4
K.AlSi12	9—11	15—20	7—10	4—7	3—6	2—4
P.AlSi5Cu3	9—14	13—18	6— 9	4—7	3—6	2—4
K.AlSi5Cu3	13—18	17—22	7—10	4—7	3—6	2—4
P.AlMg4	7— 9	15—17	6— 8	3—6	3—5	2—3
Aluminijske gnječive slitine (JUS C.C2.100)						
AlCu5Mg1 m.	8—14	18—22	8—12	5— 9	4—6	3—4
AlCu5Mg1 k.	22—30	36—45	12—18	9—13	6—9	5—7
AlMg1Si1 m.	5— 8	11—15	5— 7	3— 5	2—4	2—3
AlMg1Si1 k.	10—28	20—34	7—13	6—11	4—7	3—6
AlMg2 m.	7—12	18—22	7—12	5— 8	3—6	3—5
AlMg2 h	14—20	20—28	10—17	7—11	5—7	4—6
Čist bakar (JUS C.D1.002)						
Cu — lijevan	7—12	14—20	4— 5	3— 4	2—3	1—2
Cu — žaren	4— 8	20—25	8—11	3— 4	3—5	2—4
Cu — vučen	30—40	38—44	10—12	9—12	4—6	2—4
Ljevačke mjedi (JUS C.D2.300/301)						
P.Cu64Zn	6— 8	15—20	5— 7	2— 4	2—3	2
P.Cu58ZnMn2	15—30	45—70	15—20	6—10	5—8	4—7
Gnječive mjedi (JUS C.D2.100/101)						
Cu58ZnPb m.	10—15	37—48	13—17	8— 9	6— 9	5—6
Cu58ZnPb t.	12—16	51—61	18—22	12—15	9—11	7—8
Cu72Zn m.	8—12	28—35	10—13	6— 7	5— 6	4—5
Cu72Zn t.	24—30	43—52	16—20	12—15	8—10	6—7
Cu90Zn m.	7—10	24—29	8—12	5— 6	4— 6	3—5
Cu90Zn t.	22—28	35—43	14—18	11—14	7— 9	5—7
Gnječiva bronca (JUS C.D2.102)						
CuSn6	—	36—42	12—15	9—12	7—9	5—7

* Posebne oznake znače: m — meko, t. — tvrdo, k. — kaljeno, h. — hladno kaljeno.

Naprezanja

[1] — Pri mirujućem opterećenju

[2] — Pri kolebanju opterećenja između maksimalne vrijednosti i nule

[3] — Pri kolebanju opterećenja između pozitivne i negativne maksimalne vrijednosti.

Čelične trake

Težina [kg/m'] prema širini [mm] Tablica 40.

10	12	14	15	16	18	20	22	24	Debljina mm
0,079	0,094	0,110	0,118	0,126	0,141	0,157	0,173	0,188	1
0,157	0,188	0,220	0,236	0,251	0,283	0,314	0,345	0,377	2
0,236	0,283	0,330	0,353	0,377	0,424	0,471	0,518	0,565	3
0,314	0,377	0,440	0,471	0,502	0,565	0,628	0,691	0,754	4
0,393	0,471	0,550	0,589	0,628	0,707	0,785	0,864	0,942	5
0,471	0,565	0,659	0,707	0,754	0,848	0,942	1,036	1,130	6
0,550	0,659	0,769	0,824	0,879	0,989	1,099	1,209	1,319	7
0,628	0,754	0,879	0,942	1,005	1,130	1,256	1,382	1,507	8
0,707	0,848	0,989	1,060	1,130	1,272	1,413	1,554	1,696	9
0,785	0,942	1,099	1,178	1,256	1,413	1,570	1,727	1,884	10
0,864	1,036	1,209	1,295	1,382	1,554	1,727	1,900	2,072	11
0,942	1,130	1,319	1,413	1,507	1,696	1,884	2,072	2,261	12
1,021	1,225	1,429	1,531	1,633	1,837	2,041	2,245	2,440	13
1,099	1,319	1,539	1,649	1,758	1,978	2,198	2,418	2,638	14
1,178	1,413	1,649	1,766	1,884	2,120	2,355	2,591	2,826	15
1,256	1,507	1,758	1,884	2,010	2,261	2,512	2,763	3,014	16
1,335	1,601	1,868	2,002	2,135	2,402	2,669	2,936	3,203	17
1,413	1,696	1,978	2,120	2,261	2,543	2,826	3,109	3,391	18
1,492	1,790	2,088	2,237	2,386	2,685	2,983	3,281	3,580	19
1,570	1,884	2,198	2,355	2,512	2,826	3,140	3,454	3,768	20
1,649	1,978	2,308	2,473	2,638	2,967	3,297	3,627	3,956	21
1,727	2,072	2,418	2,591	2,763	3,109	3,454	3,799	4,145	22
1,806	2,167	2,528	2,708	2,889	3,250	3,611	3,972	4,333	23
1,884	2,261	2,638	2,826	3,014	3,391	3,768	4,145	4,522	24
1,963	2,355	2,748	2,944	3,140	3,533	3,925	4,318	4,710	25
2,041	2,449	2,857	3,062	3,266	3,674	4,082	4,490	4,898	26
2,120	2,543	2,967	3,179	3,391	3,815	4,239	4,663	5,087	27
2,198	2,638	3,077	3,297	3,517	3,956	4,396	4,836	5,275	28
2,277	2,732	3,187	3,415	3,642	4,098	4,553	5,008	5,464	29
2,355	2,826	3,297	3,533	3,768	4,239	4,710	5,181	5,652	30
2,434	2,920	3,407	3,650	3,894	4,380	4,867	5,354	5,840	31
2,512	3,014	3,517	3,768	4,019	4,522	5,024	5,526	6,029	32
2,591	3,109	3,627	3,886	4,145	4,663	5,181	5,699	6,217	33
2,669	3,203	3,737	4,004	4,270	4,804	5,338	5,872	6,406	34
2,748	3,297	3,847	4,121	4,396	4,946	5,495	6,045	6,594	35
2,826	3,391	3,956	4,239	4,522	5,087	5,652	6,217	6,782	36
2,905	3,485	4,066	4,357	4,647	5,228	5,809	6,390	6,971	37
2,983	3,580	4,176	4,475	4,773	5,369	5,966	6,563	7,159	38
3,062	3,674	4,286	4,592	4,898	5,511	6,123	6,735	7,348	39
3,140	3,768	4,396	4,710	5,024	5,652	6,280	6,908	7,536	40
3,219	3,862	4,506	4,828	5,150	5,793	6,437	7,081	7,724	41
3,297	3,956	4,616	4,946	5,295	5,935	6,594	7,253	7,913	42
3,376	4,059	4,726	5,063	5,401	6,076	6,751	7,426	8,101	43
3,454	4,145	4,836	5,181	5,526	6,217	6,908	7,599	8,290	44
3,533	4,239	4,946	5,299	5,652	6,359	7,065	7,772	8,478	45

(nastavak) Tablica 40.

25	26	28	30	32	34	35	36	38	Debljina mm
0,196	0,204	0,220	0,235	0,251	0,267	0,275	0,283	0,298	1
0,393	0,408	0,440	0,471	0,502	0,534	0,550	0,565	0,597	2
0,589	0,612	0,659	0,705	0,754	0,801	0,824	0,848	0,895	3
0,785	0,816	0,879	0,942	1,005	1,068	1,099	1,130	1,193	4
0,981	1,020	1,099	1,177	1,256	1,334	1,374	1,413	1,492	5
1,178	1,225	1,319	1,413	1,507	1,601	1,649	1,696	1,790	6
1,374	1,429	1,539	1,648	1,758	1,868	1,923	1,978	2,088	7
1,570	1,633	1,758	1,884	2,010	2,135	2,198	2,261	2,386	8
1,766	1,837	1,978	2,119	2,261	2,402	2,473	2,543	2,685	9
1,963	2,041	2,198	2,355	2,512	2,669	2,748	2,826	2,983	10
2,159	2,245	2,418	2,590	2,763	2,936	3,022	3,109	3,281	11
2,355	2,449	2,638	2,826	3,014	3,203	3,297	3,391	3,580	12
2,551	2,653	2,857	3,061	3,266	3,470	3,572	3,674	3,878	13
2,748	2,857	3,077	3,297	3,517	3,737	3,847	3,956	4,176	14
2,944	3,061	3,297	3,532	3,768	4,003	4,121	4,239	4,474	15
3,140	3,266	3,517	3,768	4,019	4,270	4,396	4,522	4,773	16
3,336	3,470	3,737	4,003	4,270	4,537	4,671	4,804	5,071	17
3,533	3,674	3,956	4,239	4,522	4,804	4,946	5,087	5,369	18
3,729	3,878	4,176	4,474	4,773	5,071	5,220	5,369	5,668	19
3,925	4,082	4,396	4,710	5,024	5,338	5,495	5,652	5,966	20
4,121	4,286	4,616	4,946	5,275	5,605	5,770	5,935	6,264	21
4,318	4,490	4,836	5,181	5,526	5,872	6,045	6,217	6,563	22
4,518	4,694	5,055	5,417	5,778	6,139	6,319	6,500	6,861	23
4,710	4,898	5,275	5,652	6,029	6,406	6,549	6,782	7,159	24
4,905	5,103	5,495	5,888	6,280	6,673	6,869	7,065	7,458	25
5,103	5,307	5,715	6,123	6,531	6,939	7,144	7,348	7,756	26
5,299	5,511	5,935	6,359	6,782	7,206	7,418	7,630	8,054	27
5,495	5,715	6,154	6,694	7,034	7,473	7,693	7,913	8,352	28
5,691	5,919	6,374	6,830	7,285	7,740	7,968	8,195	8,651	29
5,888	6,123	6,594	7,065	7,536	8,007	8,243	8,478	8,949	30
6,084	6,327	6,814	7,301	7,787	8,274	8,517	8,761	9,247	31
6,280	6,531	7,034	7,536	8,038	8,541	8,792	9,043	9,546	32
6,476	6,735	7,253	7,772	8,290	8,808	9,067	9,326	9,844	33
6,673	6,939	7,473	8,007	8,541	9,075	9,342	9,608	10,14	34
6,869	7,144	7,693	8,243	8,792	9,342	9,616	9,891	10,44	35
7,065	7,348	7,913	8,478	9,043	9,608	9,891	10,17	10,74	36
7,261	7,552	8,133	8,714	9,294	9,875	10,17	10,46	11,04	37
7,458	7,756	8,352	8,949	9,546	10,14	10,44	10,74	11,34	38
7,654	7,950	8,572	9,185	9,797	10,41	10,72	11,02	11,63	39
7,850	8,164	8,792	9,420	10,05	10,68	10,99	11,30	11,93	40
8,046	8,368	9,012	9,656	10,30	10,94	11,27	11,59	12,23	41
8,243	8,572	9,232	9,891	10,55	11,21	11,54	11,87	12,53	42
8,439	8,776	9,451	10,13	10,80	11,48	11,81	12,15	12,83	43
8,635	8,980	9,671	10,36	11,05	11,74	12,09	12,43	13,13	44
8,831	9,185	9,891	10,60	11,30	12,01	12,36	12,72	13,42	45

(nastavak) Tablica 40.

40	42	44	45	46	48	50	52	54	Debljina mm
0,314	0,330	0,345	0,353	0,361	0,377	0,392	0,408	0,424	1
0,628	0,659	0,691	0,707	0,722	0,754	0,785	0,816	0,848	2
0,942	0,989	1,036	1,060	1,083	1,130	1,177	1,225	1,272	3
1,256	1,319	1,382	1,413	1,444	1,507	1,570	1,633	1,696	4
1,570	1,649	1,727	1,766	1,805	1,884	1,962	2,041	2,119	5
1,884	1,978	2,072	2,120	2,167	2,261	2,355	2,449	2,543	6
2,189	2,308	2,418	2,473	2,528	2,638	2,747	2,857	2,967	7
2,512	2,638	2,763	2,826	2,889	3,014	3,140	3,266	3,391	8
2,826	2,967	3,109	3,179	3,250	3,391	3,532	3,674	3,815	9
3,140	3,297	3,454	3,533	3,610	3,768	3,925	4,082	4,239	10
3,454	3,627	3,799	3,886	3,972	4,145	4,317	4,490	4,463	11
3,768	3,956	4,145	4,239	4,333	4,522	4,710	4,898	5,087	12
4,082	4,286	4,490	4,592	4,694	4,898	5,102	5,307	5,511	13
4,396	4,616	4,836	4,946	5,055	5,275	5,495	5,715	5,935	14
4,710	4,945	5,181	5,299	5,416	5,652	5,887	6,123	6,358	15
5,024	5,275	5,526	5,652	5,778	6,029	6,280	6,531	6,782	16
5,338	5,605	5,872	6,005	6,139	6,406	6,672	6,939	7,206	17
5,652	5,935	6,217	6,359	6,500	6,782	7,065	7,348	7,630	18
5,966	6,264	6,563	6,712	6,861	7,159	7,457	7,756	8,054	19
6,280	6,594	6,908	7,065	7,222	7,536	7,850	8,164	8,478	20
6,594	6,924	7,253	7,418	7,583	7,913	8,243	8,572	8,902	21
6,908	7,253	7,599	7,772	7,944	8,290	8,635	8,980	9,326	22
7,222	7,583	7,944	8,125	8,305	8,666	9,028	9,389	9,750	23
7,536	7,913	8,290	8,478	8,666	9,043	9,420	9,797	10,174	24
7,850	8,243	8,635	8,831	9,028	9,420	9,813	10,21	10,598	25
8,164	8,572	8,980	9,185	9,389	9,797	10,21	10,613	11,021	26
8,478	8,902	9,326	9,538	9,750	10,17	10,60	11,021	11,445	27
8,792	9,232	9,671	9 891	10,11	10,55	10,99	11,43	11,869	28
9,106	9,561	10,02	10,24	10,47	10,93	11,38	11,84	12,293	29
9,420	9,891	10,36	10,60	10,83	11,30	11,78	12,25	12,717	30
9,734	10,22	10,71	10,95	11,19	11,68	12,17	12 654	13,141	31
10,05	10,55	11,05	11,30	11,56	12,06	12,56	13,062	13,565	32
10,36	10 88	11,40	11,66	11,92	12 43	12,95	13,471	13,989	33
10,68	11,21	11,74	12,01	12,28	12,81	13,35	13,88	14,413	34
10,99	11,54	12,09	12,36	12,64	13,19	13,74	14,287	14,84	35
11,30	11,87	12,43	12,72	13,00	13,57	14,13	14,695	15,26	36
11,62	12,20	12,78	13,07	13,36	13,94	14,52	15,103	15,684	37
11,93	12,53	13,13	13,42	13,72	14,32	14,92	15,512	16,11	38
12,25	12,86	13,47	13,78	14,08	14,70	15,31	15,92	16,532	39
12,56	13,19	13,82	14,13	14,44	15,07	15,70	16,33	16,956	40
12,87	13,52	14,16	14,48	14,81	15,45	16,09	16,74	17,38	41
13,19	13,85	14,51	14,84	15,17	15,83	16,49	17,144	17,804	42
13 50	14,18	14,85	15,19	15,53	16,20	16,88	17,553	18,23	43
13,82	14,51	15,20	15,54	15,89	16,58	17,27	17,961	18,652	44
14,13	14,84	15,54	15,90	16,25	16,96	17,66	18,369	19,076	45

(nastavak) Tablica 40.

55	56	58	60	62	64	65	70	75	Debljina u mm
0,432	0,440	0,455	0,471	0,487	0,502	0,510	0,549	0,589	1
0,864	0,879	0,911	0,942	0,973	1,005	1,021	1,099	1,777	2
1,295	1,319	1,336	1,413	1,460	1,507	1,531	1,648	1,766	3
1,727	1,758	1,821	1,884	1,947	2,010	2,041	2,198	2,355	4
2,159	2,198	2,276	2,355	2,433	2,512	2,551	2,747	2,944	5
2,591	2,638	2,732	2,826	2,920	3,014	3,062	3,297	3,532	6
3,022	3,077	3,187	3,297	3,407	3,517	3,572	3,846	4,121	7
3,454	3,517	3,642	3,768	3,894	4,019	4,082	4,396	4,710	8
3,886	3,956	4,098	4,239	4,380	4,522	4,592	4,945	5,299	9
4,318	4,396	4,553	4,710	4,867	5,024	5,103	5,495	5,887	10
4,749	4,836	5,008	5,181	5,354	5,526	5,613	6,044	6,476	11
5,181	5,275	5,464	5,652	5,840	6,029	6,123	6,594	7,065	12
5,613	5,715	5,919	6,123	6,327	6,531	6,633	7,143	7,654	13
6,045	6,154	6,374	6,594	6,814	7,034	7,144	7,693	8 242	14
6 476	6 594	6,829	7,065	7,300	7,536	7,654	8,242	8,831	15
6,908	7,034	7,285	7,536	7,787	8,038	8,164	8,792	9,420	16
7,340	7,473	7,740	8,007	8,274	8,541	8,674	9,341	10,01	17
7,772	7,913	8,195	8,478	8,761	9,043	9,185	9,891	10,60	18
8,203	8,352	8,651	8,949	9,247	9,546	9,695	10,44	11,19	19
8,635	8,792	9,106	9,420	9,734	10,05	10,21	10,99	11,78	20
9,067	9,232	9,561	9,891	10,221	10,55	10,72	11,54	12,36	21
9,499	9,671	10,017	10,36	10,707	11,053	11,23	12,09	12,95	22
9,930	10,111	10,472	10,83	11,194	11,56	11,74	12,64	13,54	23
10,36	10,55	10,927	11,30	11,681	12,058	12,25	13,19	14,13	24
10,79	10,99	11,383	11,78	12,168	12,56	12,76	13,74	14,72	25
11,23	11,43	11,838	12,25	12,654	13,062	13,27	14,29	15,31	26
11,66	11,87	12,293	12,72	13,141	13,565	13,78	14,84	15,90	27
12,09	12,31	12,748	13,19	13,628	14,067	14 20	15,39	16,49	28
12,52	12,75	13,204	13,66	14,114	14,57	14,80	15,94	17,07	29
12,95	13,188	13,659	14,13	14,601	15,072	15,31	16,49	17,66	30
13,38	13,63	14,114	14,60	15,088	15,574	15,82	17,04	18,25	31
13,82	14,067	14,570	15,07	15,574	16,077	16,33	17,58	18,84	32
14,25	14,501	15,025	15,54	16,061	16,579	16,84	18,13	19,43	33
14,68	14,95	15,48	16,01	16,548	17,082	17,35	18,69	20,02	34
15,11	15,386	15,936	16,49	17,035	17,584	17,80	19,23	20,61	35
15,54	15 826	16,391	16,96	17,521	18,086	18,37	19,78	21,20	36
15,98	16,265	16,846	17,43	18,008	18,589	18,88	20,33	21,78	37
16,41	16,705	17,301	17,90	18,495	19,091	19,39	20,88	22,37	38
16,84	17,144	17,757	18,37	18,981	19,594	19,90	21,43	22,96	39
17,27	17,584	18,212	18,84	19,468	20,096	20,41	21,98	23,55	40
17,70	18,024	18,667	19,31	19,955	20,598	20,92	22,53	24,14	41
18,13	18,463	19,123	19,78	20,441	21,101	21,43	23,08	24,73	42
18,57	18,903	19,578	20,25	20,928	21,603	21,94	23,63	25,32	43
19,00	19,342	20,033	20,72	21,415	22,106	22,45	24,18	25,91	44
19,43	19,782	20,489	21,20	21,902	22,608	22,96	24,73	26,49	45

Težine traka i žice od čelika, mjedi i bakra

Tablica 41.

Težine čeličnih traka u kg/m′ kod 1 mm debljine $\gamma = 7{,}85$ kg/dm³

Širina mm	Težina kg/m	Širina mm	Težina kg/m	Širina mm	Težina kg/m	Širina mm	Težina kg/m
10	0,079	34	0,267	56	0,440	120	0,942
12	0,094	35	0,275	58	0,455	130	1,020
14	0,110	36	0,283	60	0,471	140	1,099
15	0,118	38	0,298	62	0,487	150	1,177
16	0,126	40	0,314	64	0,502	160	1,256
18	0,141	42	0,330	65	0,510	170	1,334
20	0,157	44	0,345	70	0,549	180	1,413
22	0,173	45	0,353	75	0,589	190	1,492
24	0,188	46	0,361	80	0,628	200	1,570
25	0,196	48	0,377	85	0,667	210	1,649
26	0,204	50	0,392	90	0,707	220	1,727
28	0,220	52	0,408	95	0,746	230	1,806
30	0,235	54	0,424	100	0,785	240	1,884
32	0,251	55	0,432	110	0,864	250	1,962

Težina žice u kg/km za čelik, mjed i bakar, u normalnom stanju.

ø mm	Čelik $\gamma = 7{,}85$	Mjed $\gamma = 8{,}50$	Bakar $\gamma = 8{,}9$	ø mm	Čelik $\gamma = 7{,}85$	Mjed $\gamma = 8{,}50$	Bakar $\gamma = 8{,}9$	ø mm	Čelik $\gamma = 7{,}85$	Mjed $\gamma = 8{,}50$	Bakar $\gamma = 8{,}9$
0,1	0,062	—	0,070	0,7	3,02	3,271	3,425	2,9	—	56,144	58,784
0,12	0,089	—	0,101	0,75	3,47	3,755	3,932	3	55,5	60,083	62,914
0,15	—	—	0,157	0,8	3,95	4,273	4,474	3,1	59,2	—	—
0,18	0,200	—	0,226	0,85	4,45	4,823	5,051	3,2	—	68,361	71,574
0,2	0,247	0,267	0,280	0,9	4,99	5,407	5,662	3,4	71,3	—	—
0,22	0,298	0,323	0,338	0,95	5,56	6,024	6,308	3,5	—	81 780	85,626
0,23	0,326	—	—	1	6,17	6,676	6,990	3,8	89,0	96,399	100,926
0,24	0,355	—	—	1,1	7,46	8,078	8,458	4	—	106,814	111,837
0,25	0,385	0,417	0,437	1,2	8,88	9,613	10,066	4,2	108,8	117,762	123,301
0,26	0,417	—	—	1,3	10,42	11,282	11,810	4,5	—	135,187	141,546
0,27	0,449	—	—	1,4	12,08	13,085	13,697	4,6	130,5	—	—
0,28	0,483	0,523	0,548	1,5	13,87	15,020	15,727	4,8	—	153,813	161,054
0,3	—	0,601	0,629	1,6	15,78	17,090	17,898	5	154,1	166,897	174,751
0,31	0,592	—	—	1,7	17,82	19,293	20,201	5,5	186,5	201,946	211,446
0,32	—	0,684	0,716	1,8	19,98	21,630	22,650	6	222	240,332	251,638
0,34	0,713	—	—	1,9	22,3	24,100	25,231	6,5	260	282,056	295,329
0,35	—	0,818	0,856	2	24,7	26,704	27,963	7	302	327,118	342,508
0,37	0,844	—	—	2,1	—	29,441	30,830	7,5	—	375,518	393,184
0,38	—	0,964	1,009	2,2	29,8	32,311	33,828	7,6	356	—	—
0,4	0,986	1,068	1,118	2,3	—	35,315	36,979	8	—	427,257	447,358
0,45	1,248	1,352	1,415	2,4	35,5	38,453	40,264	8,2	415	—	—
0,5	1,541	1,669	1,747	2,5	38,5	41,724	43,690	8,8	477	—	—
0,55	1,865	2,019	2,114	2,6	41,7	45,129	47,250	9	—	—	—
0,6	2,22	2,403	2,516	2,7	—	48,667	50,961	9,4	545	—	—
0,65	2,60	2,821	2,953	2,8	48,3	52,339	54,806	10	617	—	—

Težine limova od čelika i obojenih metala

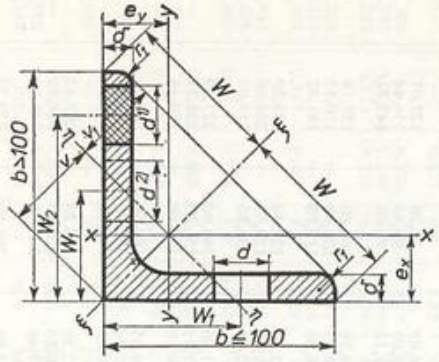
Težine limova po 1 m² za različite metale

Tablica 42.

mm	Čelik kg	Bakar kg	Mjed kg	Cink kg	Olovo kg	Aluminij kg
1/10	0,78	0,89	0,85	0,72	1,14	0,26
2/10	1,56	1,78	1,71	1,44	2,27	0,51
3/10	2,34	2,67	2,56	2,16	3,41	0,77
4/10	3,12	3,56	3,42	2,88	4,55	1,02
5/10	3,90	4,45	4,27	3,60	5,68	1,28
6/10	4,68	5,34	5,13	4,32	6,82	1,53
7/10	5,46	6,23	5,98	5,04	7,96	1,78
8/10	6,24	7,12	6,84	5,76	9,09	2,04
9/10	7,02	8,01	7,69	6,48	10,23	2,29
1	7,80	8,90	8,55	7,20	11,37	2,56
2	15,60	17,80	17,10	14,40	22,74	5,120
3	23,40	26,70	25,65	21,60	34,11	7,680
4	31,20	35,60	34,20	28,80	45,48	10,250
5	39,00	44,50	42,75	36,00	56,85	12,800
6	46,80	53,40	51,30	43,20	68,22	15,300
7	54,60	62,30	59,85	50,40	79,59	17,850
8	62,40	71,20	68,40	57,60	90,96	20,400
9	70,20	80,10	76,95	64,80	102,33	22,950
10	78,00	89,00	85,50	72,00	113,70	25,600
11	85,80	97,90	94,05	79,20	125,07	28,160
12	93,60	106,80	102,60	86,40	136,44	30,600
13	101,40	115,70	111,15	93,60	147,81	33,150
14	109,20	124,60	119,70	100,80	159,18	35,700
15	117,00	133,50	128,25	108,00	170,55	38,400
16	124,80	142,40	136,80	115,20	181,92	40,900
17	132,60	151,30	145,35	122,40	193,29	43,500
18	140,40	160,20	153,90	129,60	204,66	46,100
19	148,20	169,10	162,45	136,80	216,03	48,600
20	156,00	178,00	171,00	144,00	227,40	51,200
21	163,80	186,90	179,55	151,20	238,77	53,750
22	171,60	195,80	188,10	158,40	250,14	56,300
23	179,40	204,70	196,65	165,60	261,51	58,850
24	187,20	213,60	205,20	172,80	272,88	61,400
25	195,00	222,50	213,75	180,00	284,25	64,000
26	202,80	231,40	222,30	187,20	295,62	66,550
27	210,60	240,30	230,85	194,40	306,99	69,100
28	218,40	249,20	239,40	201,60	318,36	71,700
29	226,20	258,10	247,95	208,80	329,73	74,200
30	234,00	267,00	256,50	216,00	341,10	76,800

Istokračni kutni nosači »L« sa zaobljenim rubovima od valjanog čelika
JUS C.B3.101 — DIN 1028

Tablica 43.



I = moment tromosti	Odnosi se na pripadajuću os savijanja
W = moment otpora	
$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ = radijus tromosti	
$r_1 = \frac{r}{2}$ (zaokruženo)	

$d^1)$ nikad nije u istoj okomitoj ravnini sa $d^2)$

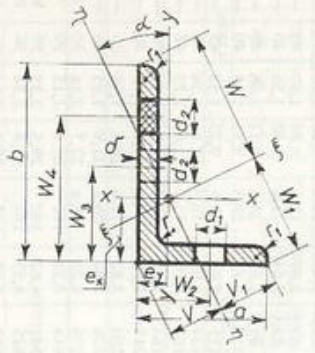
Oznaka b × b × δ L	Mjere r	Mjere r_1	A	G	Udaljenosti osi $e_x = e_y$	Udaljenosti osi w	Udaljenosti osi v	Udaljenosti osi v_1	Za os savijanja x — x = y — y I_x	W_x	i_x	ξ — ξ I_ξ	i_ξ	η — η I_η	W_η	i_η	Provrt W_1	W_2	⌀ d	max L_d
	mm	mm	cm²	kg/m′	cm	cm	cm	cm	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm	cm⁴	cm³	cm	mm	mm	mm	m
20× 20× 3	3,5	2	1,12	0,88	0,60	1,41	0,85	0,70	0,39	0,28	0,59	0,62	0,74	0,15	0,18	0,37	—	—	—	0,93
25× 25× 3	3,5	2	1,42	1,12	0,73	1,77	1,03	0,87	0,79	0,45	0,75	1,27	0,95	0,31	0,30	0,47	—	—	—	1,18
4	3,5	2	1,85	1,45	0,76	1,77	1,08	0,89	1,01	0,58	0,74	1,61	0,93	0,40	0,37	0,47	—	—	—	1,18
30× 30× 3	5	2,5	1,74	1,36	0,84	2,12	1,18	1,04	1,41	0,65	0,90	2,24	1,14	0,57	0,48	0,57	17	—	8,4	1,43
4	5	2,5	2,27	1,78	0,89	2,12	1,24	1,05	1,81	0,86	0,89	2,85	1,12	0,76	0,61	0,58	17	—	8,4	1,45
5	5	2,5	2,78	2,18	0,92	2,12	1,30	1,07	2,16	1,04	0,88	3,41	1,11	0,91	0,70	0,57	17	—	8,4	1,43
35× 35× 4	5	2,5	2,67	2,10	1,00	2,47	1,41	1,24	2,96	1,18	1,05	4,68	1,33	1,24	0,88	0,68	20	—	11	1,76
40× 40× 4	6	3	3,08	2,42	1,12	2,83	1,58	1,40	4,48	1,56	1,21	7,09	1,52	1,86	1,18	0,78	22	—	11	1,95
5	6	3	3,79	2,97	1,16	2,83	1,64	1,42	5,43	1,91	1,80	8,64	1,51	2,22	1,35	0,77	22	—	11	1,93
45× 45× 5	7	3,5	4,30	3,38	1,28	3,18	1,81	1,58	7,83	2,43	1,35	12,4	1,70	3,25	1,80	0,87	25	—	11	2,18
50× 50× 5	7	3,5	4,80	3,77	1,40	3,54	1,98	1,76	11,0	3,05	1,51	17,4	1,90	4,59	2,32	0,98	30	—	13	2,45
6	7	3,5	5,69	4,47	1,45	3,54	2,04	1,77	12,8	3,61	1,50	20,4	1,89	5,24	2,57	0,96	30	—	13	2,40
55× 55× 6	8	4	6,31	4,95	1,56	3,89	2,21	1,94	17,3	4,40	1,66	27,4	2,08	7,24	3,28	1,07	30	—	17	2,68

(nastavak) Tablica 43.

Oznaka b × b × δ L	Mjere r	Mjere r_1	A	G	Udaljenosti osi $e_x = e_y$	Udaljenosti osi w	Udaljenosti osi v	Udaljenosti osi v_1	Za os savijanja x — x = y — y I_x	W_x	i_x	ξ — ξ I_ξ	i_ξ	η — η I_η	W_η	i_η	Provrt W_1	W_2	⌀ d	max L_d
	mm	mm	cm²	kg/m′	cm	cm	cm	cm	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm	cm⁴	cm³	cm	mm	mm	mm	m
60× 60× 6	8	4	6,91	5,42	1,69	4,24	2,39	2,11	22,8	5,29	1,82	36,1	2,29	9,43	3,95	1,17	35	—	17	2,93
8	8	4	9,03	7,09	1,77	4,24	2,50	2,14	29,1	6,88	1,80	46,1	2,26	12,1	4,84	1,16	35	—	17	2,90
65× 65× 7	9	4,5	8,70	6,83	1,85	4,60	2,62	2,29	33,4	7,18	1,96	53,0	2,47	13,8	5,27	1,26	35	—	17	3,15
70× 70× 7	9	4,5	9,40	7,38	1,97	4,95	2,79	2,47	42,4	8,43	1,12	67,1	2,67	17,6	6,31	1,37	40	—	17	3,43
9	9	4,5	11,9	9,34	2,05	4,95	2,90	2,50	52,6	10,6	2,10	83,1	2,64	22,0	7,59	1,36	40	—	21	3,40
75× 75× 8	10	5	11,5	9,03	2,13	5,30	3,01	2,65	58,9	11,0	2,26	93,3	2,85	24,4	8,11	1,46	40	—	21	3,65
10	10	5	14,1	11,1	2,21	5,30	3,12	2,68	71,4	13,5	2,25	113	2,83	29,8	9,55	1,45	40	—	21	3,63
80× 80× 8	10	5	12,3	9,66	2,26	5,66	3,20	2,82	72,3	14,6	2,42	115	3,06	29,6	9,25	1,55	45	—	21	3,88
10	10	5	15,1	11,9	2,34	5,66	3,31	2,85	87,5	15,5	2,41	139	3,03	35,9	10,6	1,54	45	—	21	3,85
12	10	5	17,9	14 1	2,41	5,66	3,41	2,89	102	18,2	2,39	161	3,00	43,0	12,6	1,53	45	—	21	3,83
90× 90× 9	11	5,5	15,5	12,2	2,54	6,36	3,59	3,18	116	18,0	2,74	184	3,45	47,8	13,3	1,76	50	—	21	4,40
11	11	5,5	18,7	14,7	2,62	6,36	3,70	3,21	138	21,6	2,72	218	3,41	57,1	15,4	1,75	50	—	21	4,38
100×100×10	12	6	19,2	15,1	2,82	7,07	3,99	3,54	177	24,7	3,04	280	3,82	73,3	18,4	1,95	55	—	21	4,88
12	12	6	22,7	17,8	2,90	7,07	4,10	3,57	207	29,2	3,02	328	3,80	86,2	21,0	1,95	55	—	25	4,88
110×110×10	12	6	21,2	16,6	3,07	7,78	4,34	3,89	239	30,1	3,36	379	4,23	98,6	22,7	2,16	50	70	21	5,40
12	12	6	25,1	19,7	3,15	7,78	4,45	3,93	280	35,7	3,34	444	4,21	116	26,1	2,15	50	70	25	5,38
120×120×11	13	6,5	25,4	19,9	3,36	8,49	4,75	4,24	341	39,5	3,66	541	4,62	140	29,5	2,35	50	80	21	5,88
13	13	6,5	29,7	23,3	3,44	8,49	4,86	4,27	394	46,0	3,64	625	4,59	162	33,3	2,34	50	80	25	5,85
130×130×12	14	7	30,0	23,6	3,64	9,19	5,15	4,60	472	50,4	3,97	750	5,00	194	37,7	2,54	50	90	25	6,35
14	14	7	34,7	27,2	3,72	9,19	5,26	4,63	540	58,2	3,94	857	4,97	223	42,4	2,53	50	90	25	6,33
140×140×14	15	7,5	37,2	29,2	4,02	9,90	5,68	4,90	692	69,3	4,31	1100	5,44	282	49,7	2,75	55	100	25	6,84
16	15	7,5	42,2	33,2	4,09	9,90	5,78	4,94	775	78,2	4,28	1230	5,40	318	55,0	2,74	55	100	25	6,81
150×150×14	16	8	40,3	31,6	4,21	10,6	5,95	5,31	845	78,2	4,58	1340	5,77	347	58,3	2,94	55	110	25	7,35
16	16	8	45,7	35,9	4,29	10,6	6,07	5,34	949	88,7	4,56	1510	5,74	391	64,4	2,93	55	110	25	7,33
160×160×15	17	8,5	46,1	36,2	4,49	11,3	6,35	5,67	1100	95,6	4,88	1750	6,15	453	71,3	3,14	60	115	25	7,85
17	17	8,5	51,8	40,7	4,57	11,3	6,46	5,70	1230	108	4,86	1950	6,13	506	78,3	3,13	60	115	25	7,83
200×200×16	18	9	61,8	48,5	5,52	14,1	7,80	7,09	1340	162	6,15	3740	7,78	943	121	3,91	65	150	25	9,78
18	18	9	69,1	54,3	5,60	14,1	7,92	7,12	2600	181	6,13	4150	7,75	1050	133	3,90	65	150	28	9,75

Raznokračni kutni nosači »L«

sa zaobljenim rubovima — od valjanog čelika
JUS C.B3.111 — DIN 1029



Tablica 44.

Oznaka $a \times b \times \delta$ cm	Mjere r mm	Mjere r_1 mm	A cm²	G kg/m′	Udaljenosti osi e_x cm	e_y cm	w cm	w_1 cm	v cm	v_1 cm	v_2 cm
20 × 30 × 3	3,5	2	1,42	1,11	0,99	0,50	2,04	1,51	0,86	1,04	0,56
4	3,5	2	1,85	1,45	1,03	0,54	2,02	1,52	0,91	1,03	0,58
20 × 40 × 3	3,5	2	1,72	1,35	1,43	0,44	2,61	1,77	0,79	1,19	0,46
30 × 45 × 4	4,5	2	2,87	2,25	1,48	0,74	3,07	2,26	1,27	1,58	0,83
5	6	3	4,79	3,76	1,96	0,97	4,08	3,01	1,68	2,09	1,10
40 × 60 × 6	6	3	5,68	4,46	2,00	1,01	4,06	3,02	1,72	2,08	1,12
7	6	3	6,55	5,14	2,04	1,05	4,04	3,03	1,77	2,07	1,44
40 × 80 × 6	7	3,5	6,89	5,41	2,85	0,88	5,21	3,53	1,55	2,42	0,89
50 × 65 × 5	6,5	3,5	5,54	4,35	1,99	1,25	4,52	3,61	2,08	2,38	1,50
7	6,5	3,5	7,60	5,97	2,07	1,33	4,50	3,62	2,19	2,37	1,52
50 × 100 × 10	9	4,5	14,1	11,1	3,67	1,20	6,43	4,49	2,08	2,91	1,22
55 × 75 × 7	7	3,5	8,66	6,80	2,40	1,41	5,16	4,02	2,37	2,70	1,62
60 × 90 × 6	7	3,5	8,69	6,82	2,89	1,41	6,14	4,50	2,46	3,16	1,60
8	7	3,5	11,4	8,96	2,97	1,49	6,11	4,54	2,56	3,15	1,69
65 × 80 × 8	8	4	11,0	8,66	2,47	1,73	5,59	4,65	2,79	2,94	2,05
65 × 100 × 9	10	5	14,2	11,1	3,32	1,59	6,78	4,94	2,76	3,46	1,78
11	10	5	17,1	13,4	3,40	1,67	6,74	4,97	2,85	3,45	1,83
65 × 130 × 10	11	5,5	18,6	14,6	4,65	1,45	8,43	5,76	2,58	3,82	1,54
75 × 130 × 8	10,5	5,5	15,9	12,5	4,36	1,65	8,73	6,01	2,99	4,26	1,83
8	11	5,5	15,5	12,2	3,83	1,87	8,23	5,99	3,27	4,20	2,16
80 × 120 × 10	11	5,5	19,1	15,0	3,92	1,95	8,18	6,03	3,37	4,19	2,19
12	11	5,5	22,7	17,8	4,00	2,03	8,14	6,06	3,46	4,18	2,25
90 × 130 × 10	12	6	21,2	16,6	4,15	2,18	8,92	6,69	3,75	4,62	2,51
12	12	6	25,1	19,7	4,24	2,26	8,88	6,72	3,85	4,60	2,56
100 × 150 × 10	13	6,5	24,2	19,0	4,80	2,34	10,3	7,50	4,10	5,25	2,68
12	13	6,5	28,7	22,6	4,89	2,42	10,2	7,53	4,19	5,24	2,73
100 × 200 × 12	15	7,5	34,8	27,3	7,03	2,10	13,1	8,82	3,84	5,45	2,26
14	15	7,5	40,3	31,6	7,12	2,18	13,0	8,88	3,93	5,92	2,32

I = moment tromosti
W = moment otpora
$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ = radijus tromosti
odnosi se na pripadajuću os savijanja

$r_1 = \frac{r}{2}$ (zaokruženo)

max L_d = najveća dopuštena slobodna dužina nosača obzirom na izvijanje $\lambda_{max} = 250$

I_{xy} = centrifugalni moment

d_2 nikad nije u istoj okomitoj ravnini sa d_2' iako su po veličini jednaki

$b > a$

(nastavak) Tablica 44

Oznaka $a \times b \times \delta$ cm	Za os savijanja x—x I_x cm⁴	x—x W_x cm³	x—x i_x cm	y—y I_y cm⁴	y—y W_y cm³	y—y i_y cm	ξ—ξ I_ξ cm⁴	ξ—ξ i_ξ cm	η—η I_η cm⁴	η—η i_η cm
20 × 30 × 3	1,25	0,62	0,94	0,44	0,29	0,56	1,43	1,00	0,25	0,42
4	1,59	0,81	0,93	0,55	0,38	0,55	1,81	0,99	0,33	0,42
20 × 40 × 3	2,79	1,08	1,27	0,47	0,30	0,52	2,96	1,31	0,30	0,42
30 × 45 × 4	5,78	1,91	1,42	2,05	0,91	0,85	6,65	1,52	1,18	0,64
5	1,72	4,25	1,89	6,11	2,02	1,13	19,8	2,03	3,50	0,86
40 × 60 × 6	20,1	5,03	1,88	7,12	2,38	1,12	23,1	2,02	4,12	0,85
7	73,6	5,79	1,87	8,07	2,74	1,11	26,3	2,00	4,73	0,85
40 × 80 × 6	44,9	8,73	2,55	7,59	2,44	1,05	47,6	2,63	4,90	0,84
50 × 65 × 5	23,1	5,11	2,04	11,9	3,18	1,47	28,8	2,28	6,21	1,06
7	31,0	6,99	2,02	15,8	4,31	1,44	38,4	2,25	8,37	1,05
50 × 100 × 10	141	2,22	3,16	234	6,17	1,29	149	3,25	15,5	1,04
55 × 75 × 7	47,9	9,39	2,35	21,8	5,32	1,59	57,9	2,59	11,8	1,17
60 × 90 × 6	71,7	11,7	2,87	25,8	5,61	1,72	82,8	3,09	14,6	1,30
8	92,5	15,4	2,85	33,0	7,31	1,76	107	3,06	19,0	1,29
65 × 80 × 8	68,1	12,3	2,49	40,1	8,41	1,91	88,0	2,82	20,3	1,36
65 × 100 × 9	141	21,0	3,15	46,7	9,52	1,82	160	3,36	27,2	1,39
11	167	25,3	3,13	55,1	11,4	1,80	190	3,34	37,6	1,38
65 × 130 × 10	321	38,4	4,15	54,2	10,7	1,71	340	4,27	35,0	1,37
75 × 130 × 8	276	31,9	4,17	68,3	11,7	2,08	303	4,37	41,3	1,61
8	226	27,6	3,82	80,8	13,2	2,29	261	4,10	45,8	1,72
80 × 120 × 10	276	34,1	3,80	98,1	16,2	2,27	318	4,07	56,1	1,71
12	323	40,4	3,77	114	19,1	2,25	371	4,04	66,1	1,71
90 × 130 × 10	358	40,5	4,11	141	20,6	2,58	420	4,46	78,5	1,93
12	420	48,0	4,09	165	24,4	2,56	492	4,43	92,6	1,92
100 × 150 × 10	552	54,1	4,78	198	25,8	2,86	637	5,13	112	2,15
12	650	64,2	4,76	232	30,6	2,84	749	5,10	132	2,15
100 × 200 × 12	1440	111	6,43	247	31,3	2,67	1530	6,63	158	2,13
14	1650	128	6,41	282	36,1	2,65	1760	6,60	181	2,12

Oznaka L	w_4	Oznaka L	w_4
65 × 130 × 10	90	100 × 150 × 10	110
75 × 130 × 8	90	100 × 150 × 12	110
80 × 120 × 8	80	100 × 200 × 12	150
80 × 120 × 10	80	100 × 200 × 14	150
80 × 120 × 12	80		
90 × 130 × 10	90		
90 × 130 × 12	90		

Treća rupa buši se samo iznad dimenzija nosača L 65 × 100 × 11

(nastavak) Tablica 44.

Oznaka $a \times b \times \delta$ cm	Kut osi $\eta - \eta$ tgα	Provrti w_2 mm	Provrti w_3 mm	Provrti $\varnothing d_1$ mm	Provrti $\varnothing d_2$ mm	Max L_d m	I_{xy} cm⁴
20 × 30 × 3	0,431	—	—	—	—	1,05	0,43
4	0,423	—	—	—	—	1,05	0,53
20 × 40 × 3	0,259	—	—	—	—	1,05	0,64
30 × 45 × 4	0,436	17	25	8,4	11	1,60	2,01
5	0,437	22	35	11	17	2,15	5,98
40 × 60 × 6	0,433	22	35	11	17	2,13	6,94
7	0,429	22	35	11	17	2,13	7,81
40 × 80 × 6	0,259	22	45	11	17	2,10	10,4
50 × 65 × 5	0,583	30	35	13	17	2,65	9,81
7	0,574	30	35	13	17	2,63	13,0
50 × 100 × 10	0,252	30	55	13	21	2,60	31,6
55 × 75 × 7	0,525	30	40	17	17	2,93	18,9
60 × 90 × 6	0,442	30	50	17	17	3,75	25,2
8	0,437	30	50	17	21	3,23	32,2
65 × 80 × 8	0,645	35	45	21	21	3,40	30,8
65 × 100 × 9	0,415	35	55	22	21	3,48	47,0
11	0,410	35	55	21	21	3,45	55,1
65 × 130 × 10	0,259	35	50	21	21	3,34	74,0
75 × 130 × 8	0,339	40	50	21	21	4,03	79,5
8	0,441	45	50	21	21	4,30	79,3
80 × 120 × 10	0,438	45	50	21	21	4,28	96,0
12	0,433	45	50	21	25	4,28	111
90 × 130 × 10	0,472	50	50	21	21	4,83	132
12	0,468	50	50	25	25	4,80	154
100 × 150 × 10	0,442	55	55	21	21	5,38	194
12	0,439	55	55	25	25	5,38	227
100 × 200 × 12	0,264	55	60	25	25	5,33	339
14	0,262	55	60	25	25	5,30	386

U — Nosači od valjanog čelika, JUS C.B3.141 — DIN 1026

Tablica 45.

$b = 0{,}25\,h + 25$ mm

$r = t$

$r_1 = \frac{t}{2}$ (zaokruženo)

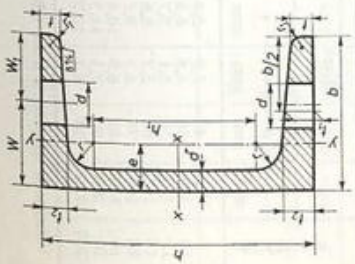
I = moment tromosti

W = moment otpora

$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ = radijus tromosti

S_x = statički moment na polovici poprečnog presjeka

Odnosi se na pripadajuću os savijanja

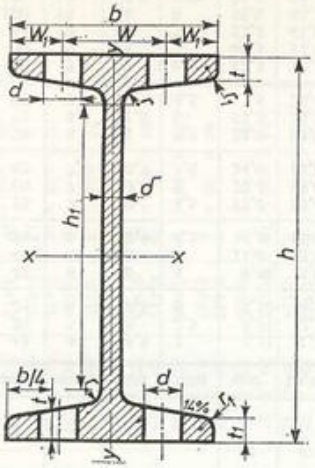


Oznaka U	Mjere h	Mjere b	Mjere $\delta = r$	Mjere t	Mjere r_1	A	G	Za os savijanja x — x I_x	x — x W_x	x — x i_x	y — y I_y	y — y W_y	y — y i_y	S_x	Provrt w	Provrt w_1	Provrt $\varnothing d$	h_1	t_1	t_2	c
	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm³	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
(3)	30	15	4	4,5	2	1,21	1,74	2,53	1,69	1,07	0,38	0,39	0,42	—	—	—	—	—	—	—	0,52
(4)	40	20	5	5	2,5	3,51	2,75	7,26	3,63	1,44	1,06	0,78	0,55	—	—	—	—	—	—	—	0,65
(5)	50	25	6	6,5	3	5,90	4,32	18,0	7,18	1,81	2,94	1,75	0,73	—	—	—	—	—	—	—	0,82
6,5	65	42	6	6	3	6,46	5,07	31,6	10,5	2,21	4,51	2,16	0,84	—	—	—	—	—	—	—	0,91
8	80	45	6	8	4	11,0	8,64	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	15,9	25	20	13	46	6,20	9,86	1,45
10	100	50	6	8,5	4,5	13,5	10,6	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	24,5	30	20	13	64	6,50	10,50	1,55
12	120	55	7	9	4,5	17,0	13,4	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	36,3	30	25	17	82	6,80	11,20	1,60
14	140	60	7	10	5	20,4	16,0	605	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	51,4	35	25	17	98	7,60	12,40	1,75
16	160	65	7,5	10,5	5,5	24,0	18,8	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89	68,8	35	30	21	115	7,90	13,10	1,84
18	180	70	8	11	5,5	28,0	22,0	1 350	150	6,95	114	22,4	2,02	89,6	40	30	21	133	8,20	13,80	1,92
20	200	75	8,5	11,5	6	32,2	25,3	1 910	191	7,70	148	27,6	2,14	114	40	35	21	151	8,50	14,50	2,61
(22)	220	80	9	12,5	6,5	37,4	29,4	2 690	245	8,48	197	33,6	2,30	146	45	35	21	167	9,30	15,70	2,14
24	240	85	9,5	13	6,5	42,3	33,2	3 600	300	9,22	248	39,6	2,42	179	45	40	25	184	9,66	16,40	2,23
(26)	260	90	10	14	7	48,3	37,9	4 820	371	9,99	317	47,7	2,56	221	50	40	25	200	10,40	17,60	2,36
(28)	280	95	10	15	7,5	53,3	41,8	6 280	448	10,9	399	57,2	2,74	266	50	45	25	216	11,20	18,80	2,53
30	300	100	10	16	8	58,8	46,2	8 030	535	11,7	495	67,8	2,90	316	55	45	25	232	12,00	20,00	2,70
(32)	320	100	14	17,5	8,75	75,8	59,5	10 870	679	12,1	547	80,6	2,81	413	55	45	25	246	15,35	20,35	2,60
35	350	100	14	16	8	77,3	60,6	12 840	734	12,9	570	75,0	2,72	459	55	45	25	282	13,85	18,85	2,40
40	400	110	14	18	9	91,5	71,8	10 350	1 020	14,9	846	102	3,04	618	60	50	25	324	15,60	21,10	2,65

1) Veličine u zagradi treba izbjegavati

I — Nosači od valjanog čelika JUS C.B3.131 — DIN 1025

Tablica 46.



$h \leq 240$ mm	$h \geq 260$ mm
$b = 0{,}40\,h + 10$ mm $\delta = 0{,}03\,h + 1{,}5$ mm	$b = 0{,}30\,h + 35$ mm $\delta = 0{,}036\,h$
$r = \delta$	$r_1 \approx 0{,}6\,\delta$
s izuzetkom za δ, r i r_1 kod I 56	

I = moment tromosti	Odnosi se na pripadajuću os savijanja
W = moment otpora	
$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ = polumjer tromosti	
S_x = statički moment na polovici poprečnog presjeka	
$L_{d\,max}$ = najveća dopuštena slobodna dužina nosača s obzirom na izvijanje $\lambda_{max} = 250$	

Oznaka	Mjere					A	G	Za os savijanja x — x			Za os savijanja y — y			S_x	Provrt			h_1	Max L_d	t_1	Oznaka
	h	b	$\delta = r$	t	r_1			I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	$i_y = i_{y\,min}$		w_1	w	$\varnothing d$				
I	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm³	mm	mm	mm	mm	m	mm	I
8	80	42	3,9	5,9	2,3	7,58	5,95	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	11,4	10	22	—	59	2,28	4,43	8
10	100	50	4,5	6,8	2,7	10,6	8,32	171	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07	19,9	12	26	—	75	2,68	5,05	10
12	120	58	5,1	7,7	3,1	14,2	11,2	328	54,7	4,81	21,5	7,41	1,23	31,8	14	30	—	92	3,08	5,67	12
14	140	66	5,7	8,6	3,4	18,3	14,4	573	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40	47,7	16	34	13	104	3,50	6,29	14
16	160	74	6,3	9,5	3,8	22,8	17,9	935	117	6,40	54,7	14,8	1,55	68,0	18	38	13	125	3,88	6,91	16
18	180	82	6,9	10,4	4,1	27,9	21,9	1 450	161	7,20	81,3	19,8	1,71	93,4	19	44	13	142	4,28	7,53	18
20	200	90	7,5	11,3	4,5	33,5	26,3	2 140	214	8,00	117	26,0	1,87	125	22	46	17	159	4,68	8,15	20
(22)	220	98	8,1	12,2	4,9	39,6	31,1	3 060	278	8,80	162	33,1	2,02	162	23	52	17	175	5,05	8,77	(22)

[1]) Veličine u zagradama treba izbjegavati.

(nastavak) Tablica 46.

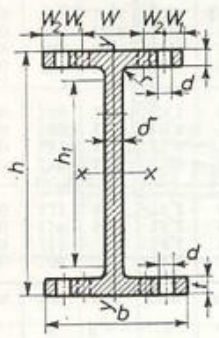
Oznaka	Mjere					A	G	Za os savijanja x — x			Za os savijanja y — y			S_x	Provrt			h_1	Max L_d	t_1	Oznaka
	h	b	$\delta = r$	t	r_1			I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	$i_y = i_{y\,min}$		w_1	w	$\varnothing d$				
I	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm³	mm	mm	mm	mm	m	mm	I
24	240	106	8,7	13,1	5,2	46,1	36,2	4 250	354	9,59	221	41,7	2,20	206	25	56	17	192	5,50	9,39	24
(26)	260	113	9,4	14,1	5,6	53,4	41,9	5 740	442	10,4	288	51,0	2,32	257	27,5	58	17	208	5,80	10,15	26
(28)	280	119	10,1	15,2	6,1	61,1	48,0	7 590	542	11,1	364	61,2	2,45	316	28,5	62	21	225	6,13	11,04	(28)
30	300	125	10,8	16,2	6,5	69,1	54,2	9 800	653	11,9	451	72,2	2,56	381	30,5	64	21	241	6,40	11,93	30
(32)	320	131	11,5	17,3	6,9	77,8	61,1	12 510	782	12,7	555	84,7	2,67	457	30,5	70	21	257	6,68	12,72	(32)
(34)	340	137	12,2	18,3	7,3	86,8	68,1	15 700	923	13,5	674	98,4	2,80	540	31,5	74	21	274	7,00	13,51	(34)
(36)	360	143	13,0	19,5	7,8	97,1	76,2	19 610	1 090	14,2	818	114	2,90	638	34,5	74	21	290	7,25	14,50	(36)
(38)	380	149	13,7	20,5	8,2	107	84,0	24 010	1 260	15,0	975	131	3,02	741	34,5	80	21	306	7,55	15,29	(38)
40	400	155	14,4	21,6	8,6	118	92,6	29 210	1 460	16,7	1 160	149	3,13	857	35,5	84	25	323	7,83	16,18	50
(42,5)	425	163	15,3	23,0	9,2	132	104	36 970	1 740	16,7	1 440	176	3,30	1 020	38,5	86	25	343	8,25	17,30	(42,5)
(45)	450	170	16,2	24,3	9,7	147	115	45 850	2 040	17,7	1 730	203	3,43	1 200	39	92	25	363	8,58	18,35	45
(47,5)	475	178	17,1	25,6	10,3	163	128	56 480	2 380	18,6	2 090	235	3,60	1 400	41	96	25	384	9,00	19,37	(47,5)
(50)	500	185	18,0	27,0	10,8	180	141	68 740	2 750	19,6	2 480	268	3,72	1 620	42,5	100	28	404	9,30	20,53	(50)
(55)	550	200	19,0	30,0	11,9	213	167	99 180	3 610	21,6	3 490	349	4,02	2 120	45	110	28	444	10,1	23,00	(55)
(60)	600	215	20,6	32,4	13,0	254	199	139 000	4 630	23,4	4 670	434	4,30	2 730	47,5	120	28	485	10,8	24,88	(60)

[1]) Veličine u zagradama treba izbjegavati

Peiner nosači od valjanog čelika

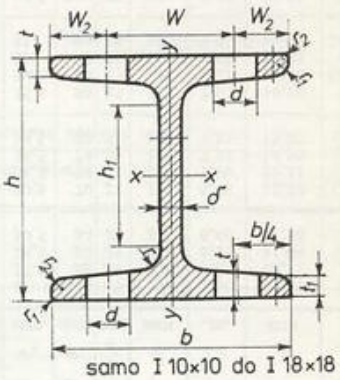
DIN 1025

Tablica 47.



za IP ≦ 30 je $b = h$
za IP ≧ 30 je $b = 300$ mm
$r \approx 1{,}5$ d

za I 10×10
do I 18×18
$h = b$; $r = t$
$r_1 = 3$ mm



samo I 10×10 do I 18×18

I = moment tromosti	Odnosi se na pripadajuću os savijanja
W = moment otpora	
$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ = polumjer tromosti	
S_x = statički moment na polovici poprečnog presjeka	
$\max L_d$ = najveća dopuštena slobodna dužina nosača s obzirom na izvijanje $\lambda_{max} = 250$	
$r_2 = $ 1,5 mm za I 10×10 i 12×12 0 mm za I 14×14 do 18×18	

(nastavak) Tablica 47.

Oznaka	Mjere					A	G	Za os savijanja						S_x	Provrt				h_1	max L_d	Oznaka
								x — x			y — y										
I P	h mm	b mm	δ mm	t mm	r mm	cm²	kg/m	I_x cm⁴	W_x cm³	i_x cm	I_y cm⁴	W_y cm³	i_y cm	cm²	w mm	w_1 mm	w_2 mm	⌀ d mm	mm	m	I P
18	180	180	9	14	14	65,8	51,6	3 830	426	7,63	1 360	151	4,55	241	100	—	40	25	124	11,4	18
20	200	200	10	16	15	82,7	64,9	5 950	595	8,48	2 140	214	5,08	337	110	—	45	25	138	12,7	20
22	220	220	10	16	15	91,1	71,5	8 050	732	9,37	2 840	258	5,59	412	120	—	56	25	158	14,0	22
24	240	240	11	18	17	111	87,4	11 690	974	10,3	4 150	346	6,11	549	90	35	40	25	170	15,3	24
26	260	260	11	18	17	121	94,8	15 050	1 160	11,2	5 280	406	6,61	649	100	40	40	25	190	16,5	26
28	280	280	12	20	18	144	113	20 720	1 480	12,0	7 320	523	7,14	831	110	45	40	25	204	17,9	28
30	300	300	12	20	18	154	121	25 760	1 720	12,9	9 010	600	7,65	959	120	50	40	25	224	19,1	30
32	320	300	13	22	20	171	135	32 250	2 020	13,7	9 910	661	7,60	1 130	120	50	40	25	236	19,0	32
34	340	300	13	22	20	174	137	36 940	2 170	14,5	9 910	661	7,55	1 220	120	50	40	25	256	18,9	34
36	360	360	14	24	21	192	150	45 120	2 510	15,3	10 810	721	7,51	1 410	120	50	40	25	270	18,8	36
38	380	300	14	24	21	194	153	50 950	2 680	16,2	10 810	721	7,46	1 510	120	50	40	25	290	18,7	38
40	400	300	14	26	21	209	164	60 640	3 030	17,0	11 710	781	7,49	1 700	120	50	40	25	306	18,1	40
(42,5)	425	300	14	26	21	212	166	69 480	3 270	18,1	11 710	781	7,43	1 830	120	50	40	25	331	18,6	(42,5)
(45)	450	300	15	28	23	232	182	84 220	3 740	19,0	12 620	841	7,38	2 110	120	50	40	25	348	18,5	(45)
(47,5)	475	300	15	28	23	235	185	95 120	4 010	20,1	12 620	841	7,32	2 250	120	50	40	25	373	18,3	(47,5)

(nastavak) Tablica 47.

Oznaka I	Oznaka P	Mjere h	b	δ	t	r	A	G	Za os savijanja x — x I_x	W_x	i_x	y — y I_y	W_y	i_y	S_x	Provrt w	w_1	w_2	⌀ d	h_1	max L_d
		mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm³	mm	mm	mm	mm	mm	m
	50	500	300	16	30	24	255	200	113 200	4 530	21,0	13 530	962	7,28	2 560	120	50	40	28	392	18,2
	55	550	300	16	30	24	263	207	140 300	5 100	23,1	13 530	902	7,17	2 880	120	50	40	28	442	17,9
	60	600	300	17	32	26	289	227	180 800	6 030	25,0	14 440	962	7,07	3 410	120	50	40	28	484	17,7
	65	650	300	17	32	26	297	234	216 800	6 670	27,0	14 440	962	6,97	3 780	120	50	40	28	534	17,4
	70	700	300	18	34	27	324	254	270 300	7 720	28,9	15 350	1 020	6,88	4 400	120	50	40	28	578	17,2
(75)		750	300	18	34	27	333	261	316 300	8 430	30,8	15 350	1 020	6,79	4 800	120	50	40	28	628	17,0
	80	800	300	18	34	27	342	268	366 400	9 160	32,7	15 350	1 020	6,70	5 220	120	50	40	28	678	16,7
	90	900	300	19	36	30	381	299	506 000	11 250	36,4	16 270	1 080	6,53	6 450	120	50	40	28	768	16,3
	100	1 000	300	20	36	30	400	314	644 700	72 900	40,1	16 280	1 080	6,37	7 430	120	50	40	28	868	15,9

Peiner nosači s pojačanim stopalom nagiba 9%

I	h	b	d	t	r	A	G	I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y	S_x	w	w_1	w_2	⌀ d	h_1	max L_d	I
	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm³	mm	mm	mm	mm	mm	m	
10×10	100	100	7,5	10,25	10	26,8	21,0	447	89,4	4,09	151	30,1	2,37	53	54	—	23	17	55	5,92	10×10
12×12	120	120	8	11	11	34,6	27,2	852	142	4,96	276	46,0	2,82	82	64	—	28	17	70	7,05	12×12
14×14	140	140	8	12	12	43,3	34,0	1 490	213	5,86	475	67,8	3,31	122	80	—	30	21	85	8,27	14×14
16×16	160	160	9	14	14	57,4	45,0	2 580	322	6,70	831	104	3,81	184	90	—	35	21	100	9,52	16×16
18×18	160	180	9	14	14	64,7	50,8	3 750	417	7,62	1 170	130	4,25	237	100	—	40	21	120	10,6	18×18

Čelični puni profili

Težinske vrijednosti

Tablica 48.

d mm	Težina kg/m′			d mm	Težina kg/m′			d mm	Težina kg/m′		
	d	d	d		d r	d	d		d	c	d
5	0,153	0,169	0,194	54	17,809	19,669	22,686	200	244,292	269,825	311,200
6	0,220	0,243	0,280	56	19,152	21,153	24,389	205	256,660	283,486	326,955
7	0,290	0,331	0,381	58	20,545	22,691	26,172	210	269,332	297,483	343,098
8	0,391	0,432	0,498	60	21,986	24,283	28,008	215	282,310	311,818	359,621
9	0,495	0,546	0,630	62	23,476	25,929	29,906	220	295,593	326,490	376,552
10	0,611	0,675	0,778	64	25,016	27,629	31,867	225	309,182	341,500	393,863
11	0,739	0,916	0,941	66	26,603	29,382	33,890	230	323,076	356,847	411,562
12	0,879	0,971	1,120	68	28,240	31,190	35,975	235	337,075	372,531	429,651
13	1,032	1,140	1,315	70	29,926	33,052	38,122	240	351,780	388,552	448,128
14	1,197	1,322	1,525	72	31,660	34,967	40,332	245	366,591	404,911	466,995
15	1,374	1,518	1,751	74	33,444	36,937	42,603	250	381,716	421,607	486,250
16	1,563	1,727	1,992	76	35,276	38,961	44,937	255	397,128	438,640	505,895
17	1,765	1,949	2,248	78	37,157	41,038	47,334	260	412,853	456,011	525,928
18	1,979	2,185	2,521	80	39,087	43,171	49,792	265	428,885	473,719	546,351
19	2,205	2,435	2,809	85	44,125	48,735	56,210	270	445,222	491,764	567,162
20	2,443	2,698	3,112	90	49,469	54,637	63,018	275	461,863	510,146	588,363
21	2,693	2,975	3,431	95	55,118	60,876	70,214	280	478,812	528,866	609,952
22	2,956	3,265	3,766	100	61,073	67,453	77,800	285	496,065	547,923	631,931
23	3,231	3,568	4,116	105	67,333	74,367	85,775	290	513,624	567,318	654,298
24	3,518	3,885	4,481	110	73,898	81,618	94,138	295	531,488	587,049	677,055
25	3,817	4,216	4,863	115	80,769	89,207	102,891	300	549,657	607,108	700,200
26	4,129	4,560	5,259	120	87,945	97,133	112,032	305	568,112	627,515	723,735
27	4,452	4,917	5,672	125	95,425	105,397	121,563	310	586,912	648,258	747,658
28	4,788	5,288	6,100	130	103,213	113,998	131,482	315	605,995	669,339	771,971
29	5,136	5,673	6,543	135	111,304	122,936	141,791	320	625,388	690,757	796,672
30	5,497	6,071	7,002	140	119,703	132,211	152,488	325	645,072	712,513	821,763
32	6,254	6,907	7,967	145	128,406	141,824	163,575	330	665,085	734,606	847,242
34	7,060	7,798	8,994	150	137,414	151,774	175,050	335	685,391	757,036	873,111
36	7,915	8,742	10,083	155	146,728	162,061	186,915	340	706,006	779,803	899,368
38	8,819	9,740	11,234	160	156,347	172,686	199,168	345	726,922	802,908	926,015
40	9,772	10,792	12,448	165	166,270	183,648	211,811	350	748,144	826,350	953,050
42	10,773	11,899	13,724	170	176,500	194,947	224,842	355	772,819	851,122	983,130
44	11,824	13,059	15,062	175	187,034	206,583	238,263	360	794,452	875,814	1009,0
46	12,923	14,273	16,462	180	197,877	218,557	252,072	365	816,171	900,211	1038,0
48	14,071	15,541	17,925	185	209,022	230,868	266,271	370	879,105	925,163	1068,0
50	15,268	16,863	19,450	190	220,474	243,517	280,858	375	861,416	950,431	1100,0
52	16,514	18,239	21,037	195	232,220	256,502	295,835	400	978,312	1080,0	1245,0

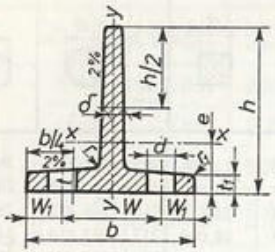
Navedene vrijednosti temelje se na ovim pretpostavkama:

1 — specifična težina $\gamma = 7{,}85$ kg/dm³

2 — homogenost materijala

3 — tolerancije mjera prema JUS C.B3.021, JUS C.B3.026, JUS C.B3.024 } Isto vrijedi za ovalnost

T — nosači (razni) od valjanog čelika
DIN 1024



Visoki T-nosač $b : h = 1 : 1$

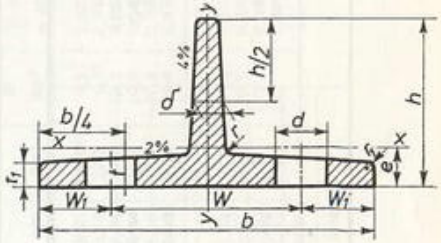
Tablica 49.

Oznaka T	Mjere b mm	h mm	δ mm	r mm	r₁ mm	e cm	A cm²	G kg/m	os x — x I_x cm⁴	W_x cm³	i_x cm	os y — y I_y cm⁴	W_y cm³	i_y cm
(2)	20	20	3	1,5	1	0,58	1,12	0,88	0,38	0,27	0,58	0,20	0,20	0,42
2,5	25	25	3,5	2	1	0,73	1,64	1,29	0,87	0,49	0,73	0,43	0,34	0,51
3	30	30	4	2	1	0,85	2,26	1,77	1,72	0,80	0,87	0,87	0,58	0,62
(3,5)	35	35	4,5	2,5	1	0,99	2,97	2,33	3,10	1,23	1,04	1,57	0,90	0,73
4	40	40	5	2,5	1	1,12	3,77	2,96	5,28	1,84	1,18	2,58	1,29	0,83
(4,5)	45	45	5,5	3	1,5	1,26	4,67	3,67	8,13	2,51	1,32	4,01	1,78	0,93
5	50	50	6	3	1,5	1,39	5,66	4,44	12,1	3,36	1,46	6,06	2,42	1,03
6	60	60	7	3,5	2	1,66	7,94	6,23	23,8	5,48	1,73	12,2	4,07	1,24
7	70	70	8	4	2	1,94	10,6	8,32	44,5	8,79	2,05	22,1	6,32	1,44
8	80	80	9	4,5	2	2,22	13,6	10,7	73,7	12,8	2,33	37,0	9,25	1,65
(9)	90	90	10	5	2,5	2,48	17,1	13,4	119	18,2	2,64	58,5	13,0	1,85
10	100	100	11	5,5	3	2,74	20,9	1,64	179	24,6	2,92	88,3	17,7	2,05
12	120	120	13	6,5	3	3,28	29,6	23,2	366	42,0	3,51	178	29,7	2,45
14	140	140	15	7,5	4	3,80	39,9	31,3	660	64,7	4,07	330	47,2	2,58

Veličine	T (2)	2,5	3	(3,5)	4	(4,5)	5	6	7	8	(9)	10	12	14
W	—	—	—	—	24	26	30	34	40	50	50	60	70	80
W_1	—	—	—	—	8	9,5	10	13	15	15	20	20	25	30
d	—	—	—	—	6,5	6,5	6,5	6,5	11	11	13	13	17	21
t_1	2,90	3,37	3,85	4,32	4,80	5,27	5,75	6,70	7,65	8,60	9,55	10,5	12,4	14,1
U	0,075	0,094	0,114	0,133	0,153	0,171	0,191	0,229	0,268	0,307	0,345	0,383	0,459	0,537
a'	U slučaju priljubljenosti nosača ⊣⊢ $\geqq 2\ I_y$ pojedinačno													

$t = r = \delta$; $r_1 = 0{,}5\ r$ (zaokruženo)	
I = moment tromosti	Odnosi se na pripadajuću os savijanja
W = moment otpora	
i = radijus tromosti	

Široki T-nosač $b : h = 2 : 1$



(nastavak) Tablica 49.

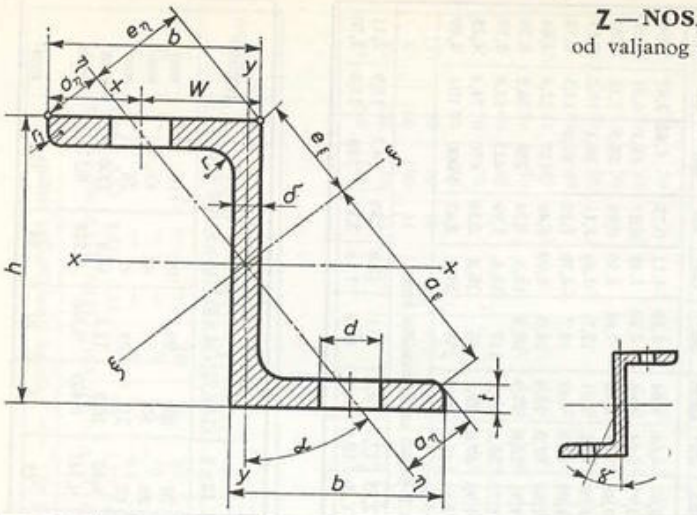
Oznaka T	Mjere b mm	h mm	δ mm	r mm	r₁ mm	e cm	A cm²	G kg/m	os x — x I_x cm⁴	W_x cm³	i_x cm	os y — y I_y cm⁴	W_y cm³	i_y cm
6×3	60	30	5,5	3	1,5	0,67	4,64	3,64	2,58	1,11	0,75	8,62	2,87	1,36
(7×3,5)	70	35	6	3	1,5	0,77	5,94	4,66	4,49	1,65	0,87	15,1	4,31	1,59
8×4	80	40	7	3,5	2	0,88	7,91	6,21	7,81	2,50	0,99	28,5	7,13	1,90
(9×4,5)	90	45	8	4	2	1,00	10,2	8,01	12,7	3,63	1,11	46,1	10,2	2,12
10×5	100	50	8,5	4,5	2	1,09	12,0	9,42	18,7	4,78	1,25	67,6	13,5	2,38
12×6	120	60	10	5	2,5	1,30	17,0	13,4	38,0	8,09	1,49	137	22,8	2,84
(14×7)	140	70	11,5	6	3	1,51	22,8	17,9	68,9	12,6	1,74	258	36,9	3,36
(16×8)	160	80	13	6,5	3,5	1,72	29,5	23,2	117	18,6	1,99	422	52,8	3,78
(18×9)	180	90	14,6	7,5	3,5	1,93	37,0	29,1	185	26,2	2,24	670	74,4	4,25
(20×10)	200	100	16	8	4	2,14	45,4	35,6	277	35,2	2,47	1 000	100	4,69
TW	T-nosači za željeznička kola													
100×90×10	100	90	10	5	2,5	2,25	17,9	14,0	111	16,4	2,49	79,7	15,9	2,11
120×80×10	120	80	10	5	2,5	1,80	18,9	14,8	84,5	13,6	2,11	138	23,0	2,70

T 6×3	(7×3,5)	8×4	(9×4,5)	10×5	12×6	(14×7)	(16×8)	(18×9)	(20×10)	Jedinice
34	40	50	50	60	70	80	90	100	110	mm
13	15	15	20	20	25	30	35	40	45	mm
8,5	11	11	13	13	17	21	21	25	26	mm
5,20	5,65	6,60	7,55	8,00	9,40	10,8	12,2	13,6	15,0	mm
0,171	0,201	0,233	0,258	0,278	0,345	0,402	0,460	0,518	0,576	m²/m
10	12	15	17	19	23	28	30	34	37	mm

Z—NOSAČ

od valjanog čelika

Tablica 50.



$b = 0{,}25\ h + 30$ mm	zaokruženo na 0,5 mm
$t = 0{,}05\ h + 3$ mm	
$\delta = 0{,}035\ h + 3$ mm	
$r = t,\ r_1 = \frac{t}{2}$	
I = moment tromosti	Odnosi se na pripadajuću os savijanja
W = moment otpora	
$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ = radijus tromosti	

Oznaka	Mjere					A	G	Kut osi $\eta - \eta_1$	Udaljenosti osi						Provrti			U	Oznaka
									$\xi - \xi$			$\eta_1 - \eta_1$							
Z	h	b	δ	$t = r$	r_1				o_ξ	e_ξ	a_ξ	o_{η_1}	e_{η_1}	a_{η_1}	⌀ d	W	W_1		Z
	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m	tgα	cm	cm	cm	cm	cm	cm	mm	mm	mm	m²/η	
(3)	30	38	4	4,5	2,5	4,32	3,39	1,655	3,86	0,61	3,54	0,58	1,39	0,87	11	20	18	0,198	(3)
4	40	40	4,5	5	2,5	5,43	4,26	1,181	4,17	1,12	3,82	0,91	1,67	1,19	11	22	18	0,225	4
5	50	43	5	5,5	3,0	6,77	5,31	0,939	4,60	1,65	4,21	1,24	1,89	1,49	11	25	18	0,253	5
6	60	45	5	6	3,0	7,91	6,21	0,779	4,98	2,21	4,56	1,51	2,04	1,76	13	25	20	0,282	6
8	80	50	6	7	3,5	11,1	8,71	0,588	5,83	3,30	5,35	2,02	2,29	2,25	13	30	20	0,339	8
10	100	55	6,5	8	4,0	14,5	11,4	0,492	6,77	4,34	6,24	2,43	2,50	2,65	17	30	25	0,397	10
12	120	60	7	9	4,5	18,2	14,3	0,433	7,75	5,37	7,16	2,80	2,70	3,02	17	35	25	0,454	12
14	140	65	8	10	5,0	22,9	18,0	0,385	8,72	6,39	8,08	3,18	2,89	3,39	21	35	30	0,511	14
16	160	70	8,5	11	5,5	27,5	21,6	0,357	9,74	7,39	9,04	3,51	3,09	3,72	21	40	30	0,569	16
20	200	80	10,0	13	6,5	38,7	30,4	0,313	11,8	9,39	11,0	4,17	3,47	4,39	25	45	35	0,683	20

Statički podaci

(nastavak) Tablica 50.

Oznaka	Za os savijanja												Centrifugalni moment	Pri vertikalnom opterećenju V i pri			Oznaka
	x—x			y—y			$\xi - \xi$			$\eta - \eta$				Sprečavanju postranog izbočenja kroz H		Slobodno izbočenje na stranu	
Z	I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y	I_ξ	W_ξ	i_ξ	I_η	W_η	i_η	I_{xy}	W	$\frac{H}{V} = tg\gamma$	W	Z
	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm⁴		cm³	
(3)	5,96	3,97	1,17	13,7	3,80	1,78	18,1	4,64	2,04	1,54	1,11	0,60	7,35	3,97	1,227	1,26	(3)
4	13,5	6,75	1,58	17,6	4,66	1,80	28,0	6,72	2,27	3,05	1,83	0,75	12,2	6,75	0,913	2,26	4
5	26,3	10,5	1,97	23,8	5,88	1,88	44,9	9,76	2,57	5,23	2,76	0,88	19,6	10,5	0,752	3,64	5
6	44,7	14,9	2,38	30,1	7,09	1,95	67,2	13,5	2,81	7,60	3,73	0,98	28,8	14,9	0,647	5,24	6
8	109	27,3	3,13	47,4	10,1	2,07	142	24,4	3,58	14,7	6,44	1,15	55,6	27,3	0,509	10,1	8
10	222	44,4	3,91	72,5	14,0	2,24	270	39,8	4,31	24,6	9,26	1,30	97,2	44,4	0,438	16,8	10
12	402	67,0	4,70	106	18,8	2,42	470	60,6	5,08	37,7	12,5	1,44	158	67,0	0,392	25,6	12
14	676	96,6	5,43	148	24,3	2,54	768	88,0	5,79	56,4	16,6	1,57	239	96,6	0,353	38,0	14
16	1 050	132	6,20	211	37,1	2,77	1 180	121	6,57	79,5	21,4	1,70	358	132	0,330	52,9	16
20	2 300	230	7,71	357	47,6	3,04	2 510	213	8,06	147	33,4	1,95	674	230	0,293	94,1	20

Bešavne čeli

(DIN 2448) —

Vanjski promjer		Normalna debljina stijenki mm	Težina kg/m	Ostale deb							
				2	2,3	2,6	2,9	3,2	3,6	4	4,5
mm	col			Težina							
▶ 10,2	13/32	1,6	0,344	0,410	0,454	0,493					
▶ 13,5	17/32	1,8	0,522	0,571	0,639	0,703	0,762	0,817	0,883		
16	5/8	1,8	0,632	0,692	0,778	0,860	0,938	1,01	1,10	1,18	
▶ 17,2	11/16	1,8	0,688	0,754	0,850	0,942	1,03	1,11	1,21	1,31	1,41
20	25/32	2	0,890		1,01	1,12	1,22	1,33	1,46	1,58	1,71
▶ 21,3	27/32	2	0,962		1,09	1,21	1,33	1,44	1,59	1,72	1,87
25	—	2	1,13		1,29	1,44	1,58	1,72	1,90	2,07	2,28
▶ 26,9	1 1/16	2,3	1,41			1,57	1,73	1,89	2,09	2,28	2,48
30	1 3/16	2,6	1,77				1,96	2,14	2,37	2,59	2,83
31,8	1 1/4	2,6	1,88				2,08	2,27	2,52	2,76	3,02
▶ 33,7	1 11/32	2,6	2,01				2,22	2,42	2,69	2,95	3,23
35	1 3/8	2,6	2,08				2,30	2,51	2,79	3,06	3,38
38	1 1/2	2,6	2,29				2,53	2,77	3,08	3,38	3,71
▶ 42,4	1 21/32	2,6	2,57				2,84	3,11	3,47	3,81	4,19
44,5	1 3/4	2,6	2,70				2,99	3,28	3,65	4,02	4,42
▶ 48,3	1 29/32	2,6	2,95				3,27	3,59	4,00	4,41	4,85
51	2	2,6	3,12				3,46	3,79	4,23	4,66	5,13
54	2 1/8	2,6	3,30					4,04	4,50	4,97	5,47
57	2 1/4	2,9	3,90					4,28	4,78	5,27	5,81
▶ 60,3	2 3/8	2,9	4,14					4,54	5,07	5,59	6,17
63,5	2 1/2	2,9	4,36					4,79	5,36	5,91	6,52
70	2 3/4	2,9	4,83					5,30	5,93	6,55	7,24
▶ 76,1	3	2,9	5,28					5,80	6,49	7,17	7,92
82,5	3 1/4	3,2	6,31						7,06	7,80	8,63
▶ 88,9	3 1/2	3,2	6,81						7,63	8,43	9,33
95	3 3/4	3,6	8,11							8,98	10,0
▶101,6	4	3,6	8,76							9,70	10,7
108	4 1/4	3,6	9,33							10,3	11,4
▶114,3	4 1/2	3,6	9,90							11,0	12,1
121	4 3/4	4	11,5								12,9
127	5	4	12,2								13,5
133	5 1/4	4	12,8								14,2
▶139,7	5 1/2	4	13,5								14,9
(146)	5 3/4	4,5	15,7								
152,4	6	4,5	16,4								
159	6 1/4	4,5	17,1								
165,1	6 1/2	4,5	17,8								
▶168,3	6 5/8	4,5	18,1								
(171)	6 3/4	4,5	18,5								
177,8	7	5	21,3								
(191)	7 1/2	5,4	24,7								
▶193,7	7 5/8	5,4	25,0								
216	8 1/2	6	31,1								
▶291,1	8 1/2	5,9	31,0								
(241)	—	6,3	36,5								
▶244,5	9 5/8	6,3	37,1								
267	10 1/2	6,3	40,6								
▶273	10 3/4	6,3	41,6								
298,5	11 3/4	7,1	51,1								
318	12 1/2	7,5	57,4								
▶323,9	12 3/4	7,1	55,6								
▶355,6	14	8	68,3								
368	14 1/2	8	70,8								
▶406,4	16	8,8	85,9								
419	16 1/2	10	101								
457,2	18	10	110								
470	18 1/2	10,5	119								
▶508	20	11	135								
521	20 1/2	11,5	144								
558,8	22	12,5	170								

Napomena. Trokutom označene mjere imaju prioritetnu primjenu.

čne cijevi

JUS C.B5.221

Tablica 51.

ljine stijenki														
5	5,6	6,3	7,1	8	8,8	10	11	12,5	14,2	16	17,5	20	22,2	25
kg/m														
1,85														
2,01														
2,47	2,68	2,91												
2,70	2,94	3,21	3,48											
3,08	3,37	3,70	4,03	4,34										
3,30	3,60	3,97	4,33	4,68										
3,54	3,87	4,27	4,67	5,05	5,39									
3,70	4,06	4,46	4,89	5,33	5,69									
4,07	4,47	4,95	5,43	5,91	6,33	6,91								
4,61	5,07	5,62	6,19	6,76	7,27	7,99	8,54							
4,87	5,35	5,95	6,56	7,17	7,72	8,51	9,11	9,9						
5,34	5,89	6,55	7,24	7,93	8,56	9,45	10,2	11,1						
5,67	6,24	6,95	7,69	8,43	9,10	10,1	10,9	11,9	12,9					
6,04	6,66	7,43	8,23	9,04	9,77	10,9	11,7	12,9	14,0					
6,41	7,08	7,91	8,77	9,65	10,4	11,6	12,5	13,8	15,0	16,2				
6,82	7,53	8,42	9,34	10,3	11,1	12,4	13,4	14,8	16,2	17,4				
7,21	7,97	8,91	9,90	10,9	11,8	13,2	14,3	15,8	17,3	18,7				
8,01	8,85	9,92	11,0	12,2	13,2	14,8	16,0	17,8	19,6	21,2	22,6			
8,77	9,71	10,9	12,1	13,2	14,6	16,3	17,7	19,7	21,7	23,7	25,3	27,7		
9,56	10,6	11,9	13,2	14,6	15,9	17,9	19,5	21,7	24,0	26,2	28,0	30,8	33,0	
10,3	11,5	12,9	14,4	15,9	17,3	19,5	21,2	23,7	26,2	28,7	30,8	34,0	36,5	
11,1	12,3	13,8	15,4	17,2	18,7	21,0	22,8	25,4	28,3	31,2	33,4	37,0	39,9	43,2
11,9	13,2	14,9	16,6	18,4	20,1	22,6	24,7	27,6	30,7	33,7	36,2	40,2	43,5	47,5
12,7	14,1	15,8	17,7	19,6	21,4	24,2	26,4	29,6	32,9	36,2	39,0	43,4	47,0	51,4
13,5	15,0	16,8	18,8	20,9	22,8	25,7	28,1	31,6	35,1	38,6	41,7	46,5	50,4	55,3
14,3	15,9	17,8	19,9	22,3	24,3	27,4	29,8	33,4	37,4	41,4	44,7	49,8	54,1	59,2
15,0	16,7	18,8	21,0	23,4	25,5	28,9	31,6	35,5	39,6	43,6	47,2	52,8	57,4	63,2
15,8	17,6	19,8	22,1	24,6	26,9	30,3	33,3	37,4	41,8	46,1	49,9	55,7	60,8	67,1
16,6	18,5	20,8	23,3	25,9	28,3	32,0	35,1	39,5	44,0	48,6	52,7	59,0	64,3	71,1
17,4	19,4	21,7	24,3	27,2	29,8	33,5	36,6	41,2	46,2	51,3	55,5	62,1	67,8	74,6
18,2	20,2	22,8	25,5	28,4	31,0	35,1	38,5	43,4	48,5	53,6	58,1	65,3	71,3	79,0
19,0	21,1	23,8	26,6	29,6	32,4	36,7	40,3	45 4	50,8	56,2	60,9	68,6	74,8	83,0
19,7	21,9	24,8	27,7	30,9	33,8	38,2	42,0	47,4	53,0	58,6	63,6	71,6	78,2	86,9
20,1	22,4	25,3	28,3	31,5	34,5	39,0	42,9	48,4	54,1	59,9	65,0	73,1	80,0	88,9
	22,8	25,6	28,7	32,2	35,2	39,7	43,4	48,9	54,9	61,2	66,2	74,5	81,5	90,0
	23,7	26,7	30,0	33,4	36,5	41,4	45,4	51,3	57,4	63,6	69,1	77,8	85,2	94,8
		28,7	32,2	36,1	39,5	44,6	48,8	55,0	61,9	69,1	74,9	84,3	92,4	102
		29,2	32,8	36,5	40,0	45,3	49,8	56,2	63,0	69,8	75,9	85,7	93,9	105
		32,6	36,6	41,0	45,0	50,8	55,6	62,7	70,7	78,9	85,7	96,7	106	118
		33,2	37,2	41,5	45,4	51,6	56,7	64,1	71,9	79,8	86,9	98,2	108	120
			41,0	46,0	50,4	57,0	62,4	70,4	79,4	88,8	96,5	109	120	133
			41,7	46,5	50,9	57,8	63,6	72,0	80,8	89,0	97,8	111	122	136
			45,6	50,9	55,8	63,4	69,7	79,0	88,7	98,6	107	122	134	150
			46,7	52,1	57,1	64,9	71,4	80,9	90,9	101	110	125	137	154
				57,1	62,6	71,1	78,3	88,8	99,8	111	121	137	151	170
				61,2	67,1	76,0	83,3	94,2	106	119	130	147	162	181
				62,1	68,1	77,4	85,3	96,7	109	121	132	150	165	186
					74,9	85,2	93,9	107	120	133	146	166	183	205
					77,7	88,3	97,3	110	124	138	151	172	189	213
						97,8	108	122	134	153	168	191	210	237
							111	126	142	158	173	197	217	245
							122	138	156	173	189	216	238	268
								141	160	179	195	222	245	274
								154	173	193	211	241	266	300
									177	199	217	247	273	306
									191	213	233	266	294	331

Šavne čelične cijevi
(DIN 2458)

Tablica 52.

Vanjski promjer mm	Vanjski promjer col	Normalna debljina stijenki mm	Težina kg/m	Ostale debljine stijenki												
				1,4	1,6	1,8	2	2,3	2,6	2,9	3,2	3,6	4	4,5	5	5,6
				Težina kg/m												
▶ 10,2	13/32	1,6	0,344	0,308	0,344	0,378	0,410									
▶ 13,5	17/32	1,8	0,522	0,420	0,472	0,522	0,571									
16	5/8	1,8	0,632	0,505	0,569	0,632	0,692									
▶ 17,2	11/16	1,8	0,688	0,549	0,620	0,688	0,754	0,850	0,942	1,03						
20	25/32	2	0,890	0,644	0,728	0,810	0,890	1,01	1,12	1,22						
▶ 21,3	27/32	2	0,962	0,694	0,785	0,874	0,962	1,09	1,21	1,33	1,44	1,59	1,72	1,87		
25	—	2	1,13	0,815	0,923	1,03	1,13	1,29	1,44	1,58	1,72	1,90	2,07	2,28		
▶ 26,9	1 1/16	2	1,24	0,888	1,01	1,12	1,24	1,41	1,57	1,73	1,89	2,09	2,28	2,48	2,70	
30	1 3/16	2	1,39	0,997	1,13	1,26	1,39	1,59	1,77	1,96	2,14	2,37	2,59	2,83	3,08	
31,8	1 1/4	2	1,48	1,06	1,20	1,34	1,48	1,68	1,88	2,08	2,27	2,52	2,76	3,02	3,30	
▶ 33,7	1 11/32	2	1,57	1,12	1,28	1,43	1,57	1,79	2,01	2,22	2,42	2,69	2,95	3,23	3,54	
35	1 3/8	2	1,63	1,16	1,32	1,47	1,63	1,86	2,08	2,30	2,51	2,79	3,06	3,38	3,70	
38	1 1/2	2	1,79	1,27	1,45	1,62	1,79	2,04	2,29	2,53	2,77	3,08	3,38	3,71	4,07	
▶ 42,4	1 13/16	2	2,01	1,43	1,62	1,72	2,01	2,29	2,57	2,84	3,11	3,47	3,81	4,19	4,61	
44,5	1 3/4	2	2,11	1,50	1,70	1,91	2,11	2,41	2,70	2,99	3,28	3,65	4,02	4,42	4,87	
▶ 48,3	1 29/32	2,3	2,63	1,63	1,86	2,08	2,30	2,63	2,95	3,27	3,59	4,00	4,41	4,85	5,34	
51	2	2,3	2,78	1,72	1,96	2,20	2,43	2,78	3,12	3,46	3,79	4,23	4,66	5,13	5,67	
54	2 1/8	2,3	2,05	1,83	2,08	2,33	2,58	2,95	3,32	3,68	4,04	4,50	4,97	5,47	6,04	
57	2 1/4	2,3	3,13	1,94	2,20	2,47	2,74	3,13	3,52	3,90	4,28	4,78	5,27	5,81	6,41	
▶ 60,3	2 3/8	2,3	3,31	2,05	2,33	2,62	2,90	3,31	3,73	4,14	4,54	5,07	5,59	6,17	6,82	
63,5	2 1/2	2,3	3,50		2,46	2,76	3,06	3,50	3,93	4,36	4,79	5,36	5,91	6,52	7,21	
70	2 3/4	2,6	4,35		2,72	3,05	3,37	3,86	4,35	4,83	5,30	5,93	6,55	7,24	8,01	
▶ 76,1	3	2,6	4,75		2,96	3,32	3,68	4,22	4,75	5,28	5,80	6,49	7,17	7,92	8,77	
82,5	3 1/4	2,6	5,16					4,58	5,16	5,74	6,31	7,06	7,80	8,63	9,56	
▶ 88,9	3 1/2	2,9	6,20					4,95	5,57	6,20	6,81	7,63	8,43	9,33	10,3	11,5
95	3 3/8	2,9	6,59					5,26	5,92	6,59	7,24	8,11	8,98	10,0	11,1	12,3
▶101,6	4	2,9	7,11					5,67	6,39	7,11	7,82	8,76	9,70	10,7	11,9	13,2
108	4 1/4	2,9	7,57					6,04	6,81	7,57	8,33	9,33	10,3	11,4	12,7	14,1
▶114,3	4 1/2	3,2	8,83					6,40	7,21	8,03	8,83	9,90	11,0	12,1	13,5	15,0
121	4 3/4	3,2	9,30					6,73	7,59	8,45	9,30	10,4	11,5	12,9	14,3	15,9
127	5	3,2	9,84					7,13	8,04	8,94	9,84	11,0	12,2	13,5	15,0	16,7
133	5 1/4	3,6	11,6					7,48	8,43	9,37	10,3	11,6	12,8	14,2	15,8	17,6
▶139,7	5 1/2	3,6	12,2								10,9	12,2	13,5	14,9	16,6	18,5

Šavne čelične cijevi
(DIN 2458)

(nastavak) Tablica 52.

Vanjski promjer mm	Vanjski promjer col	Normalna debljina stijenki mm	Težina kg/mm	Ostale debljine stijenki												
				1,4	1,6	1,8	2	2,3	2,6	2,9	3,2	3,6	4	4,5	5	5,6
				Težina kg/m												
152,4	6	4	14,7								11,9	13,3	14,7	16,4	18,2	20,2
159	6 1/4	4	15,4								12,4	13,9	15,4	17,1	19,0	21,1
165,1	6 1/2	4	16,0								12,9	14,4	16,0	17,8	19,7	21,9
▶168,3	6 5/8	4	16,3								13,1	14,7	16,3	18,1	20,1	22,4
(171)	6 3/4	4	16,5								13,2	14,9	16,5	18,5	20,5	22,8
177,8	7	4,5	19,2								13,9	15,6	17,3	19,2	21,3	23,7
▶193,7	7 5/8	4,5	20,9								15,1	17,0	18,8	20,9	23,3	25,9
216	8 1/2	4,5	23,5								16,8	18,9	20,9	23,5	26,0	29,1
▶219,1	8 5/8	4,5	23,7								17,2	19,3	21,4	23,7	26,4	29,4
▶244,5	9 5/8	5	29,5								19,2	21,5	23,9	26,5	29,5	32,9
267	10 1/2	5	32,2								21,0	23,5	26,1	29,0	32,3	35,9
▶273	10 3/4	5	33,0								21,5	24,1	26,7	29,7	33,0	36,8
398,5	11 3/4	5,6	40,3								23,5	26,4	29,3	32,5	36,2	40,3
318	12 1/2	5,6	43,0								24,8	27,9	31,0	34,8	38,6	43,1
▶323,9	12 3/4	5,6	43,8								25,5	28,6	31,8	35,3	39,3	43,8
▶355,6	14	5,6	48,2								28,0	31,5	34,9	38,8	43,2	48,2
368	14 1/2	5,6	49,9								29,0	32,6	36,2	40,2	44,8	49,9
▶406,4	16	6,3	62,4								32,1	36,0	40,0	44,4	49,5	55,1
419	16 1/2	6,3	64,3									37,2	41,2	45,8	51,0	56,9
457,2	18	6,3	70,3									40,6	45,0	50,1	55,8	62,1
470	18 1/2	6,3	72,1									41,4	46,0	51,7	57,3	64,1
▶508	20	6,3	78,2									45,1	50,1	55,7	62,0	69,1
521	20 1/2	6,3	80,0											57,3	63,7	71,2
558,8	22	6,3	86,1											61,3	68,3	76,1
▶609,6	24	6,3	94,1											66,9	74,6	83,1
622	24 1/2	6,3	95,6											68,5	76,1	85,1
660,4	26	7,1	115											72,5	80,8	90,1
▶711,2	28	7,1	124											78,1	87,1	97,1
762	30	8	148											83,8	93,3	104
▶812,8	32	8	158											89,4	99,6	111
▶863,6	34	8,8	185											95,0	106	118
▶914,4	36	10	223											101	112	125
101,6	40	10	248											112	125	139

Šavne čelične cijevi

(nastavak) Tablica 52.

Vanjski promjer mm	Vanjski promjer col	Normalna debljina stijenki	Težina kg/m	Ostale debljine stijenki: 6,3	7,1	8	8,8	10	11	12,5	14,2	16	17,5	20	22,2	25
				Težina kg/m												
▶ 10,2	1/32	1,6	0,344													
▶ 13,5	17/32	1,8	0,522													
16	5/8	1,8	0,632													
▶ 17,2	11/16	1,8	0,688													
20	25/32	2	0,890													
▶ 21,3	27/32	2	0,962													
25	—	2	1,13													
▶ 26,9	1 1/16	2	1,24													
30	1 3/16	2	1,39													
31,8	1 1/4	2	1,48													
▶ 33,7	1 11/32	2	1,57													
35	1 3/8	2	1,63													
38	1 1/2	2	1,79													
▶ 42,4	1 11/16	2	2,01													
44,5	1 3/4	2	2,11													
▶ 48,3	1 29/32	2,3	2,63													
51	2	2,3	2,78													
54	2 1/8	2,3	2,95													
57	2 1/4	2,3	3,13													
▶ 60,3	2 3/8	2,3	3,31													
63,5	2 1/2	2,3	3,50													
70	2 3/4	2,6	4,35													
▶ 76,1	3	2,6	4,75													
82,5	3 1/4	2,6	5,16													
▶ 88,9	3 1/2	2,9	6,20													
95	3 3/4	2,9	6,59													
▶101,6	4	2,9	7,11	14,9												
108	4 1/4	2,9	7,57	15,8												
▶114,3	4 1/2	3,2	8,83	16,8	18,8											
121	4 3/4	3,2	9,30	17,8	19,9											
127	5	3,2	9,84	18,8	21,0											
133	5 1/4	3,6	11,6	19,8	22,1											
▶139,7	5 1/2	3,6	12,2	20,8	23,3											

Šavne čelične cijevi

(nastavak) Tablica 52.

Vanjski promjer mm	Vanjski promjer col	Normalna debljina stijenki mm	Težina kg/m	Ostale debljine stijenki: 6,3	7,1	8	8,8	10	11	12,5	14,2	16	17,5	20	22,2	25
				Težina kg/m												
152,4	6	4	14,7	22,8	25,5	28,4										
159	6 1/4	4	15,4	23,8	26,6	29,6										
165,1	9 1/2	4	16,0	24,8	27,7	30,9										
▶168,3	6 5/8	4	16,3	25,3	28,3	31,5										
(171)	6 3/4	4	16,5	25,6	28,7	32,2										
177,8	7	4,5	19,2	26,7	30,0	33,4										
▶193,7	7 5/8	4,5	20,9	29,2	32,8	36,5	40,0									
216	8 1/2	4,5	23,5	32,6	36,6	41,0	45,0									
▶219,1	8 5/8	4,5	23,7	33,2	37,2	41,5	45,4	51,6	56,7	64,1						
▶244,5	9 5/8	5	29,5	37,1	41,7	46,5	50,9	57,8	63,6	72,0						
267	10 1/2	5	32,3	40,6	45,6	50,9	55,8	63,4	69,7	79,0						
▶273	10 3/4	5	33,0	41,6	46,7	52,1	57,1	64,9	71,4	80,9						
298,5	11 3/4	5,6	40,3	45,5	51,1	57,1	62,6	71,1	78,3	88,8						
318	12 1/2	5,6	43,0	48,4	54,4	61,2	67,1	76,0	83,3	94,2						
▶323,9	12 3/4	5,6	43,8	49,5	55,6	62,1	68,1	77,4	85,3	96,7						
▶355,6	14	5,6	48,2	54,5	61,2	68,3	74,9	85,2	93,9	107						
368	14 1/2	5,6	49,9	56,4	63,4	70,8	77,7	88,3	97,3	110						
▶406,4	16	6,3	62,4	62,4	70,1	78,3	85,9	97,8	108	122						
419	16 1/2	6,3	64,3	64,3	72,3	80,7	88,7	101	111	126						
457,2	18	6,3	70,3	70,3	79,0	88,2	96,9	110	122	138						
470	18 1/2	6,3	72,1	72,0	81,1	91,1	100	113	125	141						
▶508	20	6,3	78,2	78,2	87,9	98,2	108	123	135	154						
521	20 1/2	6,3	80,0	80,0	90,0	101	111	126	138	157						
558,8	22	6,3	86,1	86,1	96,9	108	119	135	149	170	191	213	233	266		
▶609,6	24	6,3	94,1	94,1	106	118	130	148	163	185	209	233	255	291		
622	24 1/2	6,3	95,6	95,7	108	121	133	151	166	188	213	239	261	297	328	368
660,4	26	7,1	115	102	115	128	141	160	177	201	227	253	277	317	349	395
▶711,2	28	7,1	124	110	124	138	152	173	191	217	245	273	299	341	377	426
762	30	8	148	118	133	148	163	185	205	233	263	293	321	366	405	458
▶812,8	32	8	158	126	141	158	174	198	219	249	280	313	343	391	433	489
863,6	34	8,8	185	134	150	168	185	211	232	264	298	333	365	416	461	521
▶914,4	36	10	223	142	159	178	196	223	246	280	316	353	386	441	489	552
▶1016	40	10	248	151	177	198	218	248	274	312	352	393	430	491	544	615

Lake čelične cijevi s navojem i kolčakom (bešavne i šavne) (DIN 2439)

Tablica 53.

Nazivni otvor		Vanjski promjer D	Debljina stijenke S	Težina cijevi bez kolčaka	Težina kolčaka
col	mm	mm ≈	mm	kg/m ≈	kg/kom
▶ 1/2"	15	21,3	2,35	1,10	0,079
▶ 3/4"	20	26,9	2,35	1,41	0,095
▶ 1"	25	33,7	2,9	2,21	0,165
1 1/4"	32	42,4	2,9	2,84	0,265
▶ 1 1/2"	40	48,3	2,9	3,26	0,300
▶ 2"	50	60,3	3,25	4,56	0,560

NAPOMENA: Dimenziju koja nije označena zacrnjenim trokutom (▶) treba po mogućnosti izbjegavati

Srednje teške čelične cijevi s navojem i kolčakom (bešavne i šavne) (DIN 2440) — JUS C.B5.225/C.B5.020 — 1 ÷ 25 atp

Tablica 54.

Nazivni otvor		Cijev				Protočni presjek ≈ $F = \frac{d^2\pi^*}{4}$	Moment inercije $I = \frac{(D^4-d^4)\pi}{64}$	Moment otpora $W = \frac{(D^4-d^4)\pi}{32\,D}$	Radijus inercije $i = \sqrt{\frac{I}{F_1^{**}}}$
		Vanjski promjer D ≈	Debljina stijenke s	Težina cijevi bez kolčaka	Težina kolčaka INT 672.31				
col	mm	mm	mm	kg/m ≈	kg/kom	cm²	cm⁴	cm³	cm
1/8"	6	10,2	2	0,407	0,021	0,303	0,046	0,090	0,298
1/4"	8	13,5	2,35	0,650	0,032	0,609	0,134	0,190	0,403
3/8"	10	17,2	2,35	0,852	0,052	1,24	0,310	0,360	0,552
▶ 1/2"	15	21,3	2,65	1,22	0,079	2,02	0,689	0,647	0,666
▶ 3/4"	20	26,9	2,65	1,58	0,095	3,68	1,50	1,12	0,863
▶ 1"	25	33,7	3,25	2,44	0,165	5,81	3,64	2,16	1,08
1 1/4"	32	42,4	3,25	3,14	0,265	11,35	7,71	3,64	1,38
▶ 1 1/2"	40	48,3	3,25	3,61	0,300	13,75	11,7	4,86	1,60
▶ 2"	50	60,3	3,65	5,10	0,560	22,1	26,2	8,68	2,01
2 1/2"	65	76,1	3,65	6,51	1,00	37,2	54,6	14,4	2,56
3"	80	88,9	4,05	8,47	1,44	51,3	97,4	21,9	3,00
4"	100	114,3	4,50	12,1	2,05	86,7	23,4	41,0	3,89
5"	125	139,7	4,85	16,2	3,10	133	468	66,9	4,77
6"	150	165,1	4,85	19,2	4,17	189	784	95,0	5,67

NAPOMENA: $^*d$ = unutarnji promjer cijevi $^{**}F_1 = \frac{(D^2-d^2)\pi}{4}$

Dimenzije cijevi koje nisu označene zacrnjenim trokutom (▶) treba po mogućnosti izbjegavati

Teške čelične cijevi s navojem i kolčakom (bešavne i šavne)

(DIN 2441) — JUS C.B5.225/C.B5.022 — 1 ÷ 25 atp

Tablica 55.

Nazivni otvor		Cijev				Navoj prema INT-u	Pripadni kolčak INT	Protočni presjek ≈ $A = \frac{d^2\pi^*}{4}$	Moment inercije $I = \frac{(D^4-d^4)\pi}{64}$	Moment otpora $W = \frac{(D^4-d^4)\pi}{32\,D}$	Radijus $i = \sqrt{\frac{I}{A_1^{**}}}$	
		Vanjski promjer D ≈	Debljina stijenke s	Težina cijevi bez kolčaka	Težina kolčaka INT 672.31							
col	mm	mm	mm	kg/m ≈	kg/kom			cm²	cm⁴	cm³	cm	
1/8"	6	10,2	2,65	0,493	0,021	035.200	672.461	0,189	0,050	0,099	0,283	R2
1/4"	8	13,5	2,9	0,769	0,032	035.201	672.462	0,468	0,146	0,216	0,388	R2
3/8"	10	17,2	2,9	1,02	0,052	035.202	672.463	1,02	0,347	0,403	0,516	R2
▲ 1/2"	15	21,3	3,25	1,45	0,079	035.203	672.464	1,73	0,775	0,728	0,648	R2
▲ 3/4"	20	26,9	3,25	1,90	0,095	035.205	672.465	3,28	1,72	1,28	0,844	R2
▲ 1"	25	33,7	4,05	2,97	1,165	035.207	672.466	5,15	4,22	2,51	1,06	R2
1 1/4"	32	42,4	4,05	3,84	0,265	035.208	672.467	9,25	9,07	4,28	1,36	R2
▲ 1 1/2"	40	48,3	4,05	4,43	0,300	035.209	672.468	12,73	13,9	5,75	1,57	R2
▲ 2"	50	60,3	4,5	6,17	0,560	035.211	672.469	20,75	30,9	10,2	1,98	R2
2 1/2"	65	76,1	4,5	7,90	1,00	035.213	672.470	35,5	65,1	17,1	2,54	R2
3"	80	88,9	4,85	10,1	1,44	035.215	672.471	49,4	113	25,5	2,98	R2
4"	100	114,3	5,4	14,4	2,05	035.219	672.472	82,1	275	48,0	3,86	R2
5"	125	139,7	5,4	17,8	3,10		672.473	131	514	73,7	4,75	R2
6"	150	165,1	5,4	21,2	4,17		672.474	187	865	105	5,65	R2

NAPOMENA: $^*d$ = unutarnji promjer cijevi $^{**}A_1 = \frac{(D^2-d^2)\pi}{4}$

Dimenzije cijevi koje nisu označene zacrnjenim trokutom (▲) treba po mogućnosti izbjegavati.

Lake čelične cijevi s navojem i kolčakom (bešavne i šavne) (DIN 2439)

Tablica 53.

Nazivni otvor		Vanjski promjer D	Debljina stijenke S	Težina cijevi bez kolčaka	Težina kolčaka
col	mm	mm ≈	mm	kg/m ≈	kg/kom
▶ 1/2"	15	21,3	2,35	1,10	0,079
▶ 3/4"	20	26,9	2,35	1,41	0,095
▶ 1"	25	33,7	2,9	2,21	0,165
1 1/4"	32	42,4	2,9	2,84	0,265
▶ 1 1/2"	40	48,3	2,9	3,26	0,300
▶ 2"	50	60,3	3,25	4,56	0,560

NAPOMENA: Dimenziju koja nije označena zacrnjenim trokutom (▶) treba po mogućnosti izbjegavati

Srednje teške čelične cijevi s navojem i kolčakom (bešavne i šavne) (DIN 2440) — JUS C.B5.225/C.B5.020 — 1 ÷ 25 atp

Tablica 54.

Nazivni otvor		Cijev				Protočni presjek ≈ $F=\frac{d^2\pi^*}{4}$	Moment inercije $I=\frac{(D^4-d^4)\pi}{64}$	Moment otpora $W=\frac{(D^4-d^4)\pi}{32\,D}$	Radijus inercije $i=\sqrt{\frac{I}{F_1^{**}}}$
		Vanjski promjer D ≈	Debljina stijenke s	Težina cijevi bez kolčaka	Težina kolčaka INT 672.31				
col	mm	mm	mm	kg/m ≈	kg/kom	cm²	cm⁴	cm³	cm
1/8"	6	10,2	2	0,407	0,021	0,303	0,046	0,090	0,298
1/4"	8	13,5	2,35	0,650	0,032	0,609	0,134	0,190	0,403
3/8"	10	17,2	2,35	0,852	0,052	1,24	0,310	0,360	0,552
▶ 1/2"	15	21,3	2,65	1,22	0,079	2,02	0,689	0,647	0,666
▶ 3/4"	20	26,9	2,65	1,58	0,095	3,68	1,50	1,12	0,863
▶ 1"	25	33,7	3,25	2,44	0,165	5,81	3,64	2,16	1,08
1 1/4"	32	42,4	3,25	3,14	0,265	11,35	7,71	3,64	1,38
▶ 1 1/2"	40	48,3	3,25	3,61	0,300	13,75	11,7	4,86	1,60
▶ 2"	50	60,3	3,65	5,10	0,560	22,1	26,2	8,68	2,01
2 1/2"	65	76,1	3,65	6,51	1,00	37,2	54,6	14,4	2,56
3"	80	88,9	4,05	8,47	1,44	51,3	97,4	21,9	3,00
4"	100	114,3	4,50	12,1	2,05	86,7	23,4	41,0	3,89
5"	125	139,7	4,85	16,2	3,10	133	468	66,9	4,77
6"	150	165,1	4,85	19,2	4,17	189	784	95,0	5,67

NAPOMENA: $^*d$ = unutarnji promjer cijevi $^{**}F_1=\frac{(D^2-d^2)\pi}{4}$

Dimenzije cijevi koje nisu označene zacrnjenim trokutom (▶) treba po mogućnosti izbjegavati

Teške čelične cijevi s navojem i kolčakom (bešavne i šavne) (DIN 2441) — JUS C.B5.225/C.B5.022 — 1 ÷ 25 atp

Tablica 55.

Nazivni otvor		Cijev				Navoj prema INT-u	Pripadni kolčak INT	Protočni presjek ≈ $A=\frac{d^2\pi^*}{4}$	Moment inercije $I=\frac{(D^4-d^4)\pi}{64}$	Moment otpora $W=\frac{(D^4-d^4)\pi}{32\,D}$	Radijus $i=\sqrt{\frac{I}{A_1^{**}}}$	INT
		Vanjski promjer D ≈	Debljina stijenke s	Težina cijevi bez kolčaka	Težina kolčaka INT 672.31							
col	mm	mm	mm	kg/m ≈	kg/kom			cm²	cm⁴	cm³	cm	
1/8"	6	10,2	2,65	0,493	0,021	035.200	672.461	0,189	0,050	0,099	0,283	R2
1/4"	8	13,5	2,9	0,769	0,032	035.201	672.462	0,468	0,146	0,216	0,388	R2
3/8"	10	17,2	2,9	1,02	0,052	035.202	672.463	1,02	0,347	0,403	0,516	R2
▲ 1/2"	15	21,3	3,25	1,45	0,079	035.203	672.464	1,73	0,775	0,728	0,648	R2
▲ 3/4"	20	26,9	3,25	1,90	0,095	035.205	672.465	3,28	1,72	1,28	0,844	R2
▲ 1"	25	33,7	4,05	2,97	1,165	035.207	672.466	5,15	4,22	2,51	1,06	R2
1 1/4"	32	42,4	4,05	3,84	0,265	035.208	672.467	9,25	9,07	4,28	1,36	R2
▲ 1 1/2"	40	48,3	4,05	4,43	0,300	035.209	672.468	12,73	13,9	5,75	1,57	R2
▲ 2"	50	60,3	4,5	6,17	0,560	035.211	672.469	20,75	30,9	10,2	1,98	R2
2 1/2"	65	76,1	4,5	7,90	1,00	035.213	672.470	35,5	65,1	17,1	2,54	R2
3"	80	88,9	4,85	10,1	1,44	035.215	672.471	49,4	113	25,5	2,98	R2
4"	100	114,3	5,4	14,4	2,05	035.219	672.472	82,1	275	48,0	3,86	R2
5"	125	139,7	5,4	17,8	3,10		672.473	131	514	73,7	4,75	R2
6"	150	165,1	5,4	21,2	4,17		672.474	187	865	105	5,65	R2

NAPOMENA: $^*d$ = unutarnji promjer cijevi $^{**}A_1=\frac{(D^2-d^2)\pi}{4}$

Dimenzije cijevi koje nisu označene zacrnjenim trokutom (▲) treba po mogućnosti izbjegavati.

Precizne bešavne čelične cijevi

hladno vučene ili hladno valjane s normalnom tolerancijom

(DIN 2385) — JUS C.B5.230 Tablica 56.

Debljina stijenke s (mm)	Nazivna mjera	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3
	Tolerancija	±10% debljine stijenke					±15% deb. stijenke	
Vanjski promjer		Unutarnji promjer						
Nazivna mjera	Tolerancija	Nazivni otvor i odgovarajuća tolerancija						
▶ 4		3±0,5	2,5±0,5					
5		4±0,5	3,5±0,5	3±0,6				
▶ 6		5±0,5	4,5±0,5	4±0,5	3±0,5			
7		6±0,4	5,5±0,5	5±0,5	4±0,5			
▶ 8		7±0,4	6,5±0,5	6±0,5	5±0,5	4±0,7	3±0,8	
9		8±0,4	7,5±0,4	7±0,4	6±0,5	5±0,7	4±0,8	
▶ 10		9±0,4	8,5±0,4	8±0,4	7±0,5	6±0,7	5±0,8	
11		10±0,4	9,5±0,4	9±0,4	8±0,4	7±0,6	6±0,7	
▶ 12		11±0,4	10,5±0,4	10±0,4	9±0,4	8±0,6	7±0,7	6±0,9
13		12±0,3	11,5±0,3	11±0,4	10±0,4	9±0,5	8±0,6	7±0,8
14	±0,1	13±0,3	12,5±0,3	12±0,4	11±0,4	10±0,5	9±0,6	8±0,8
▶ 15		14±0,3	13,5±0,3	13±0,3	12±0,4	11±0,5	10±0,6	9±0,7
16		15±0,1	14,5±0,1	14±0,3	13±0,4	12±0,4	11±0,6	10±0,7
17		16±0,1	15,5±0,1	15±0,3	14±0,4	13±0,4	12±0,5	11±0,6
▶ 18		17±0,1	16,5±0,1	16±0,1	15±0,1	14±0,4	13±0,5	12±0,6
19		18±0,1	17,5±0,1	17±0,1	16±0,1	15±0,4	14±0,5	13±0,5
▶ 20		19±0,1	18,5±0,1	18±0 1	17±0,1	16±0,1	15±0,2	14±0,5
▶ 22		21±0,1	20,5±0,1	20±0,1	19±0,1	18±0,1	17±0,2	16±0,2
24		23±0,1	22,5±0,1	22±0,1	21±0,1	20±0,1	19±0,2	18±0,2
▶ 25		24±0,1	23,5±0,1	23±0,1	22±0,1	21±0,1	20±0,1	19±0,2
28		27±0,1	26,5±0,1	26±0,1	25±0,1	24±0,1	23±0,1	22±0,2
▶ 30		29±0,1	28,5±0,1	28±0,1	27±0,1	26±0,1	25±0,1	24±0,1
32				30±0,2	29±0,2	28±0,2	27±0,2	26±0,2
34				32±0,2	31±0,2	30±0,2	29±0,2	28±0,2
▶ 35				33±0,2	32±0,2	31±0,2	30±0,2	29±0,2
▶ 36				34±0,2	33±0,2	32±0,2	31±0,2	30±0,2
37	±0,2			35±0,2	34±0,2	33±0,2	32±0,2	31±0,2
38				36±0,2	35±0,2	34±0,2	33±0,2	32±0,2
▶ 40				38±0,2	37±0,2	36±0,2	35±0,2	34±0,2
42				40±0,2	39±0,2	38±0,2	37±0,2	36±0,2
▶ 45				43±0,3	42±0,3	41±0,3	40±0,3	39±0,3
48				46±0,3	45±0,3	44±0,3	43±0,3	42±0,3
▶ 50				48±0,3	47±0,3	46±0,3	45±0,3	44±0,3
52				50±0,8	49±0,3	48±0,3	47±0,3	46±0,3
55	±0,3			53±0,3	52±0,3	51±0,3	50±0,3	49±0,3
58				56±0,3	55±0,3	54±0,3	53±0,3	52±0,3
▶ 60				58±0,3	57±0,3	56±0,3	55±0,3	54±0,3
62				60±0,3	59±0,3	58±0,3	57±0,3	56±0,3
65					62±0,4	61±0,4	60±0,4	59±0,4
68					65±0,4	64±0,4	63±0,4	62±0,4
▶ 70	±0,4				67±0,4	66±0,4	65±0,4	64±0,4
75					72±0,4	71±0,4	70±0,4	69±0,4
▶ 80					77±0,4	76±0,4	75±0,4	74±0,4
85						81±0,5	80±0,5	79±0,5
▶ 90	±0,5					86±0,5	85±0,5	84±0,5
95						91±0,5	90±0,5	89±0,5
▶ 100						96±0,6	95±0,6	94±0,6
▶ 110	±0,6					106±0,6	105±0,6	104±0,6
▶ 120	±0,7					116±0,7	115±0,7	114±0,7

Dimenzije označene s ▶ imaju prioritet

Precizne bešavne čelične cijevi

hladno vučene ili hladno valjane s normalnom tolerancijom

(DIN 2385) — JUS C.B5.230 (nastavak) Tablica 56.

Debljina stijenke s (mm)	Nazivna mjera	3,5	4	5	6	7	8	10
	Tolerancija	±15% debljine stijenke						
Vanjski promjer		Unutarnji promjer						
Nazivna mjera	Tolerancija	Nazivni otvor i odgovarajuća tolerancija						
▶ 4								
5								
▶ 6								
7								
▶ 8								
9								
▶ 10								
11								
▶ 12								
13								
14	±0,1							
▶ 15								
16		9±0,8	8±0,9					
17		10±0,8	9±0,9					
▶ 18		11±0,7	10±0,9					
19		12±0,6	11±0,9					
▶ 20		13±0,6	12±0,8	10±1,1				
▶ 22		15±0,3	14±0,6	12±0,9				
24		17±0,3	16±0,3	14±0,8				
▶ 25		18±0,2	17±0,3	15±0,4				
28		21±0,2	20±0,3	18±0,4	16±0,7			
▶ 30		23±0,2	22±0,2	20±0,3	18±0,4			
32		25±0,3	24±0,3	22±0,4	20±0,5			
34		27±0,3	26±0,3	24±0,4	22±0,5			
▶ 35		28±0,2	27±0,3	25±0,4	23±0,5	21±0,5		
▶ 36		29±0,2	28±0,3	26±0,4	24±0,5	22±0,5		
37	±0,2	30±0,2	29±0,3	27±0,4	25±0,5	23±0,5		
38		31±0,2	30±0,3	28±0,4	26±0,5	24±0,5	22±0,6	
▶ 40		33±0,2	32±0,2	30±0,3	28±0,4	26±0,5	24±0,6	
42		35±0,2	34±0,2	32±0,3	30±0,4	28±0,5	26±0,6	
▶ 45		38±0,3	37±0,3	35±0,4	33±0,5	31±0,6	29±0,6	
48		41±0,3	40±0,3	38±0,4	36±0,5	34±0,6	32±0,6	
▶ 50		43±0,3	42±0,3	40±0,3	38±0,5	36±0,5	34±0,6	
52		45±0,3	44±0,3	42±0,3	40±0,3	38±0,5	36±0,6	32±0,8
55	±0,3	48±0,3	47±0,3	45±0,3	43±0,4	41±0,5	39±0,6	35±0,8
58		51±0,3	50±0,3	48±0,3	46±0,4	44±0,5	42±0,6	38±0,8
▶ 60		53±0,3	52±0,3	50±0,3	48±0,3	46±0,4	44±0,5	40±0,7
62		55±0,3	54±0,3	52±0,3	50±0,3	48±0,4	46±0.5	42±0,7
65		58±0,4	57±0,4	55±0,4	53±0,4	51±0,5	49±0,6	45±0,8
68		61±0,4	60±0,4	58±0,4	55±0,4	54±0,5	52±0,6	48±0,8
▶ 70	±0,4	63±0,4	62±0,4	60±0,4	58±0,4	56±0,4	54±0,5	50±0,7
75		68±0,4	67±0,4	65±0,4	63±0,4	61±0,4	59±0,5	55±0,7
▶ 80		73±0,4	72±0,4	70±0,4	68±0,4	66±0,4	64±0,4	60±0,6
85		78±0,5	77±0,5	75±0,5	73±0,5	71±0,5	69±0,5	65±0,7
▶ 90	±0,5	83±0,5	82±0,5	80±0,5	78±0,5	76±0,5	74±0,5	70±0,6
95		88±0,5	87±0,5	85±0,5	83±0,5	81±0,5	79±0,5	75±0,6
▶ 100		93±0,6	92±0,6	90±0,6	88±0,6	86±0,6	84±0,6	80±0,6
▶ 110	±0,6	103±0,6	102±0,6	100±0,6	98±0,6	96±0,6	94±0,6	90±0,6
▶ 120	±0,7	113±0,7	112±0,7	110±0,7	108±0,7	106±0,7	104±0,7	100±0,7

Dimenzije označene s ▶ imaju prioritet

Precizne bešavne čelične cijevi

hladno vučene ili hladno valjane s finijom tolerancijom (DIN 2391) Tablica 57.

Debljina stijenke s (mm)	Nazivna mjera	0,5	0,6	0,75	▶ 1	1,2	▶ 1,5	1,8	▶ 2	2,2	▶ 2,5	2,8
	Tolerancija	±10% debljine stijenke										
Vanjski promjer		Unutarnji promjer Nazivni otvor i odgovarajuća tolerancija										
Nazivna mjera	Tolerancija											
▶ 4		3±0,30	2,8±0,30	2,5±0,30	2±0,30							
5		4±0,30	3,8±0,30	3,5±0,30	3±0,30							
▶ 6		5±0,25	4,8±0,25	4,5±0,25	3±0,25							
7	±0,1	6±0,20	5,8±0,20	5,5±0,20	5±0,25	4,6±0,30	4±0,30					
▶ 8		7±0,20	6,8±0,20	6,5±0,20	6±0,20	5,6±0,30	5±0,30	4,4±0,35	4±0,35	3,6±0,40	3±0,40	
9		8±0,15	7,8±0,15	7,5±0,15	7±0,20	6,6±0,25	6±0,25	5,4±0,35	5±0,35	4,6±0,40	4±0,40	
▶ 10		9±0,15	8,8±0,15	8,5±0,15	8±0,20	7,6±0,25	7±0,25	6,4±0,30	6±0,30	5,6±0,35	5±0,35	
11		10±0,15	9,8±0,15	9,5±0,15	9±0,15	8,6±0,25	8±0,25	7,4±0,30	7±0,30	6,6±0,35	6±0,35	
▶ 12		11±0,15	10,8±0,15	10,5±0,15	10±0,15	9,6±0,20	9±0,20	8,4±0,25	8±0,25	7,6±0,30	7±0,30	6,4±0,40
13		12±0,08	11,8±0,15	11,5±0,15	11±0,15	10,6±0,20	10±0,20	9,4±0,25	9±0,25	8,6±0,30	8±0,30	7,4±0,40
14		13±0,08	12,8±0,08	12,5±0,08	12±0,08	11,6±0,15	11±0,15	10,4±0,20	10±0,20	9,6±0,25	9±0,25	8,4±0,30
▶ 15		14±0,08	13,8±0,08	13,5±0,08	13±0,08	12,6±0,15	12±0,15	11,4±0,20	11±0,20	10,6±0,25	10±0,25	9,4±0,30
16		15±0,08	14,8±0,08	14,5±0,08	14±0,08	13,6±0,08	13±0,08	12,4±0,15	12±0,15	11,6±0,20	11±0,20	10,4±0,30
▶ 18		17±0,08	16,8±0,08	16,5±0,08	16±0,08	15,6±0,08	15±0,08	14,4±0,08	14±0,08	13,6±0,20	13±0,20	12,4±0,20
▶ 20	±0,08	19±0,08	18,8±0,08	18,5±0,08	18±0,08	17,6±0,08	17±0,08	16,4±0,08	16±0,08	15,6±0,15	15±0,15	14,4±0,15
▶ 22		21±0,08	20,8±0,08	20,5±0,08	20±0,08	19,6±0,08	19±0,08	18,4±0,08	18±0,08	17,6±0,08	17±0,15	16,4±0,15
24		23±0,08	22,8±0,08	22,5±0,08	22±0,08	21,6±0,08	21±0,08	20,4±0,08	20±0,08	19,6±0,08	19±0,15	18,4±0,15
▶ 25		24±0,08	23,8±0,08	23,5±0,08	23±0,08	22,6±0,08	22±0,08	21,4±0,08	21±0,08	20,6±0,08	20±0,08	19,4±0,15
26		25±0,08	24,8±0,08	24,5±0,08	24±0,08	23,6±0,08	23±0,08	22,4±0,08	22±0,08	21,6±0,08	21±0,08	20,4±0,15
27		26±0,08	25,8±0,08	25,5±0,08	25±0,08	24,6±0,08	24±0,08	23,4±0,08	23±0,08	22,6±0,08	22±0,08	21,4±0,15
28		27±0,08	26,8±0,08	26,5±0,08	26±0,08	25,6±0,08	25±0,08	24,4±0,08	24±0,08	23,6±0,08	23±0,08	22,4±0,08
▶ 30		29±0,08	28,8±0,08	28,5±0,08	28±0,08	27,6±0,08	27±0,08	26,4±0,08	26±0,08	25,6±0,08	25±0,08	24,4±0,08

Dimenzije označene s ▶ imaju prioritet

Precizne bešavne čelične cijevi

hladno vučene ili hladno valjane s finijom tolerancijom (DIN 2391) (nastavak) Tablica 57.

Debljina stijenke s (mm)	Nazivna mjera	0,5	0,6	0,75	▶ 1	1,2	▶ 1,5	1,8	▶ 2	2,2	▶ 2,5	2,8
	Tolerancija	±10% debljine stijenke										
Vanjski promjer		Unutarnji promjer Nazivni otvor i odgovarajuća tolerancija										
Nazivna mjera	Tolerancija											
32		31±0,15	30,8±0,15	30,5±0,15	30±0,15	29,6±0,15	29±0,15	28,4±0,15	28±0,15	27,6±0,15	27±0,15	26,4±0,15
34		33±0,15	32,8±0,15	32,5±0,15	32±0,15	31,6±0,15	31±0,15	30,4±0,15	30±0,15	29,6±0,15	29±0,15	28,4±0,15
▶ 35		34±0,15	33,8±0,15	33,5±0,15	33±0,15	32,6±0,15	32±0,15	31,4±0,15	31±0,15	30,6±0,15	30±0,15	29,4±0,15
36		35±0,15	34,8±0,15	34,5±0,15	34±0,15	33,6±0,15	33±0,15	32,4±0,15	32±0,15	31,6±0,15	31±0,15	30,4±0,15
38		37±0,15	36,8±0,15	36,5±0,15	36±0,15	35,6±0,15	35±0,15	34,4±0,15	34±0,15	33,6±0,15	33±0,15	32,4±0,15
▶ 40	±0,15	39±0,15	38,8±0,15	38,5±0,15	38±0,15	37,6±0,15	37±0,15	36,4±0,15	36±0,15	35,6±0,15	35±0,15	34,4±0,15
42					40±0,20	39,6±0,20	39±0,20	38,4±0,20	38±0,20	37,6±0,20	37±0,20	36,4±0,20
▶ 45					43±0,20	42,6±0,20	42±0 20	41,4±0,20	41±0,20	40,6±0,20	40±0,20	39,4±0,20
48	±0,20				46±0,20	45,6±0,20	45±0,20	44,4±0,20	44±0,20	43,6±0,20	43±0,20	42,4±0,20
▶ 50					48±0,20	47,6±0,20	47±0,20	46,4±0,20	46±0,20	45,6±0,20	45±0,20	44,4±0,20
52					50±0,25	49,6±0,25	49±0,25	48,4±0,25	48±0,25	47,6±0,25	47±0,25	46,4±0,25
55					53±0,25	52,6±0,25	52±0,25	51,4±0,25	51±0,25	50,6±0,25	50±0,25	49,4±0,25
58	±0,25				56±0,25	55,6±0,25	55±0,25	54,4±0,25	54±0,25	53,6±0,25	53±0,25	52,4±0,25
▶ 60					58±0,25	57,6±0,25	57±0,25	56,4±0,25	56±0,25	55,6±0,25	55±0,25	54,4±0,25
62					60±0,30	59,6±0,30	59±0,30	58,4±0,30	58±0,30	57,6±0,30	57±0,30	56,4±0,30
65	±0,30				63±0,30	62,6±0,30	62±0,30	61,4±0,30	61±0,30	60,6±0,30	60±0,30	59,4±0,30
▶ 70					68±0,30	67,6±0,30	67±0,30	66,4±0,30	66±0,30	65,6±0,30	65±0,30	64,6±0,30
75					73±0,35	72,6±0,35	72±0,35	71,4±0,35	71±0,35	70,6±0,35	70±0,35	69,4±0,35
▶ 80	±0,35				78±0,35	77,6±0,35	77±0,35	76,4±0,35	76±0,35	75,6±0,35	75±0,35	74,4±0,35
85							82±0,40	81,4±0,40	81±0,40	80,6±0,40	80±0,40	79,4±0,40
▶ 90	±0,40						87±0,40	86,4±0,40	86±0,40	85,6±0,40	85±0,40	84,4±0,40
95									91±0,45	90,6±0,45	90±0,45	89,4±0,45
▶100	±0,45								96±0,45	95,6±0,45	95±0,45	94,4±0,45
▶110									106±0,50	105,6±0,50	105±0,50	104,4±0,50
▶120	±0,50								116±0,50	115,6±0,50	115±0,50	114,4±0,50

Dimenzije označene s ▶ imaju prioritet

Precizne bešavne čelične cijevi
hladno vučene ili hladno valjane s finijom tolerancijom (DIN 2391) (nastavak) Tablica 57.

Debljina stijenke s (mm)	Nazivna mjera	▶ 3	3,5	▶ 4	4,5	▶ 5	5,5	6	7	8	9	10
	Tolerancija	±10% debljine stijenke				±15% debljina stijenke						
Vanjski promjer		Unutarnji promjer Nazivni otvor i odgovarajuća tolerancija										
Nazivna mjera	Tolerancija											
▶ 4	±0,1											
5												
▶ 6												
7												
▶ 8												
9												
▶ 10												
11	±0,08											
▶ 12		6±0.40										
13		7±0,40										
14		8±0,30										
▶ 15		9±0,30										
16		10±0,30										
▶ 18		12±0,20	11±0,35	10±0,35								
▶ 20		14±0,20	13±0,30	12±0,35	11±0,35	10±0,35						
▶ 22		16±0,15	15±0,20	14±0,30	13±0,35	12±0,35						
24		18±0,15	17±0,15	16±0,20	15±0,30	14±0,30						
▶ 25		19±0,15	18±0,15	17±0,20	16±0,20	15±0,30						
26		20±0,15	19±0,15	18±0,15	17±0,20	16±0,30						
27		21±0,15	20±0,15	1 ±0,15	18±0,20	17±0,20						
28		22±0,15	21±0,15	20±0,15	19±0,15	18±0,20	17±0,30	16±0,30				
▶ 30		24±0,08	23±0,15	22±0,15	21±0,15	20±0,15	19±0,30	18±0,30				

Dimenzije označene s ▶ imaju prioritet

Precizne bešavne čelične cijevi
hladno vučene ili hladno valjane s finijom tolerancijom (DIN 2391) (nastavak) Tablica 57.

Debljina stijenke s (mm)	Nazivna mjera	▶ 3	3,5	▶ 4	4,5	▶ 5	5,5	6	7	8	9	10
	Tolerancija	±10% debljine stijenke				±15% debljine stijenke						
Vanjski promjer		Unutarnji promjer Nazivni otvor i odgovarajuća tolerancija										
Nazivna mjera	Tolerancija											
32	±0,15	26±0,15	25±0,15	24±0,15	23±0,15	22±0,15	21±0,30	20±0,30				
34		28±0,15	27±0,15	26±0,15	25±0,15	24±0,15	23±0,20	22±0,30				
▶ 35		29±0,15	28±0,15	27±0,15	26±0,15	25±0,15	24±0,20	23±0,20				
36		30±0,15	29±0,15	28±0,15	27±0,15	26±0,15	25±0,15	24±0,20				
38		32±0,15	31±0,15	30±0,15	29±0,15	28±0,15	27±0,15	26±0,15				
▶ 40		34±0,15	33±0,15	32±0,15	31±0,15	30±0,15	29±0,15	28±0,15	26±0,15			
42	±0,20	36±0,20	35±0,20	34±0,20	33±0,20	32±0,20	31±0,20	30±0,20	28±0,20			
▶ 45		39±0,20	38±0,20	37±0,20	36±0,20	35±0,20	34±0,20	33±0,20	31±0,20			
48		42±0,20	41±0,20	40±0,20	39±0,20	38±0,20	37±0,20	36±0,20	34±0,20			
▶ 50		44±0,20	43±0,20	42±0,20	41±0,20	40±0,20	39±0,20	38±0,20	36±0,20			
52	±0,25	46±0,25	45±0,25	44±0,25	43±0,25	42±0,25	41±0,25	40±0,25	38±0,25	36±0,25	34±0,25	32±0,25
55		49±0,25	48±0,25	47±0,25	46±0,25	45±0,25	44±0,25	43±0,25	41±0,25	39±0,25	37±0,25	35±0,25
58		52±0,25	51±0,25	50±0,25	49±0,25	48±0,25	47±0,25	46±0,25	44±0,25	42±0,25	40±0,25	38±0,25
▶ 60		54±0,25	53±0,25	52±0,25	51±0,25	50±0,25	49±0,25	48±0,25	46±0,25	44±0,25	42±0,25	40±0,25
62	±0,30	56±0,30	55±0,30	54±0,30	53±0,30	52±0,30	51±0,30	50±0,30	48±0,30	46±0,30	44±0,30	42±0,30
65		59±0,30	58±0,30	57±0,30	56±0,30	55±0,30	54±0,30	53±0,30	51±0,30	49±0,30	47±0,30	45±0,30
▶ 70		64±0,30	63±0,30	62±0,30	61±0,30	60±0,30	59±0,30	58±0,30	56±0,30	54±0,30	52±0,30	50±0,30
75	±0,35	69±0,35	68±0,35	69±0,35	68±0,35	67±0,35	66±0,35	65±0,35	63±0,35	61±0,35	59±0,35	57±0,35
▶ 80		74±0,35	73±0,35	72±0,35	71±0,35	70±0,35	69±0,35	68±0,35	66±0,35	64±0,35	62±0,35	60±0,35
85	±0,40	79±0,40	78±0,40	77±0,40	76±0,40	75±0,40	74±0,40	73±0,40	71±0,40	69±0,40	67±0,40	65±0,40
▶ 90		84±0,40	83±0,40	82±0,40	81±0,40	80±0,40	79±0,40	78±0,40	76±0,40	74±0,40	72±0,40	70±0,40
95	±0,45	89±0,45	88±0,45	87±0,45	86±0,45	85±0,45	84±0,45	83±0,45	81±0,45	79±0,45	77±0,45	75±0,45
▶100		94±0,45	93±0,45	92±0,45	91±0,45	90±0,45	89±0,45	88±0,45	86±0,45	84±0,45	82±0,45	80±0,45
▶110	±0,50	104±0,50	103±0,50	102±0,50	101±0,50	100±0,50	99±0,50	98±0,50	96±0,50	94±0,50	92±0,50	90±0,50
▶120		114±0,50	113±0,50	112±0,50	111±0,50	110±0,50	109±0,50	108±0,50	106±0,50	104±0,50	102±0,50	100±0,50

Dimenzije označene s ▶ imaju prioritet

Precizne šavne čelične cijevi

hladno vučene s finijom tolerancijom (DIN 2393)

Tablica 58.

Debljina stijenke s (mm)	Nazivna mjera	0,5	0,6	0,75	1	1,2	1,5	1,8
	Toleran.	±7,5% debljine stijenke						
Vanjski promjer		Unutarnji promjer Nazivni otvor i odgovarajuća tolerancija						
Nazivna mjera	Toleran.							
▶ 4	±0,1	3±0,30	2,8±0,30	2,5±0,30	2±0,30			
5		4±0,30	3,8±0,30	3,5±0,30	3±0,30			
▶ 6		5±0,25	4,8±0,25	4,5±0,25	4±0,25			
7		6±0,20	5,8±0,20	5,5±0,20	5±0,25	4,6±0,30	4±0,30	
▶ 8		7±0,20	6,8±0,20	6,5±0,20	6±0,20	5,6±0,30	5±0,30	
9		8±0,15	7,8±0,15	7,5±0,15	7±0,20	6,6±0,25	6±0,25	
▶ 10		9±0,15	8,8±0,15	8,5±0,15	8±0,20	7,6±0,25	7±0,25	6,4±0,30
11	±0,08	10±0,15	9,8±0,15	9,5±0,15	9±0,15	8,6±0,25	8±0,25	7,4±0,30
▶ 12		11±0,15	10,8±0,15	10,5±0,15	10±0,15	9,6±0,20	9±0,20	8,4±0,25
13		12±0,08	11,8±0,15	11,5±0,15	11±0,15	10,6±0,20	10±0,20	9,4±0,25
14		13±0,08	12,8±0,08	12,5±0,08	12±0,08	11,6±0,15	11±0,15	10,4±0,20
▶ 15		14±0,08	13,8±0,08	13,5±0,08	13±0,08	12,6±0,15	12±0,15	11,4±0,20
16		15±0,08	14,8±0,08	14,5±0,08	14±0,08	13,6±0,08	13±0,08	12,4±0,15
▶ 18		17±0,08	16,8±0,08	16,5±0,08	16±0,08	15,6±0,08	15±0,08	14,4±0,08
▶ 20		19±0,08	18,8±0,08	18,5±0,08	18±0,08	17,6±0,08	17±0,08	16,4±0,08
▶ 22		21±0,08	20,8±0,08	20,5±0,08	20±0,08	19,6±0,08	19±0,08	18,4±0,08
24		23±0,08	22,8±0,08	22,5±0,08	22±0,08	21,6±0,08	21±0,08	20,4±0,08
▶ 25		24±0,08	23,8±0,08	23,5±0,08	23±0,08	22,6±0,08	22±0,08	21,4±0,08
26		25±0,08	24,8±0,08	24,5±0,08	24±0,08	23,6±0,08	23±0,08	22,4±0,08
28		27±0,08	26,8±0,08	26,5±0,08	26±0,08	25,6±0,08	25±0,08	24,4±0,08
▶ 30		29±0,08	28,8±0,08	28,5±0,08	28±0,08	27,6±0,08	27±0,08	26,4±0,08
32	±0,15	31±0,15	30,8±0,15	30,5±0,15	30±0,15	29,6±0,15	29±0,15	28,4±0,15
34		33±0,15	32,8±0,15	32,5±0,15	32±0,15	31,6±0,15	31±0,15	30,4±0,15
▶ 35		34±0,15	33,8±0,15	33,5±0,15	33±0,15	32,6±0,15	32±0,15	31,4±0,15
36		35±0,15	34,8±0,15	34,5±0,15	34±0,15	33,6±0,15	33±0,15	32,4±0,15
38		37±0,15	36,8±0,15	36,5±0,15	36±0,15	35,6±0,15	35±0,15	34,4±0,15
▶ 40		39±0,15	38,8±0,15	38,5±0,15	38±0,15	37,6±0,15	37±0,15	36,4±0,15
42	±0,20				40±0,20	39,6±0,20	39±0,20	38,4±0,20
▶ 45					43±0,20	42,6±0,20	42±0,20	41,4±0,20
48					46±0,20	45,6±0,20	45±0,20	44,4±0,20
▶ 50					48±0,20	47,6±0,20	47±0,20	46,4±0,20
52	±0,25				50±0,25	49,6±0,25	49±0,25	48,4±0,25
55					53±0,25	52,6±0,25	52±0,25	51,4±0,25
58					56±0,25	55,6±0,25	55±0,25	54,4±0,25
▶ 60					58±0,25	57,6±0,25	57±0,25	56,4±0,25
62	±0,30				60±0,30	59,6±0,30	59±0,30	58,4±0,30
65					63±0,30	62,6±0,30	62±0,30	61,4±0,30
▶ 70					68±0,30	67,6±0,30	67±0,30	66,4±0,30
75	±0,35				73±0,35	72,6±0,35	72±0,35	71,4±0,35
▶ 80					78±0,35	77,6±0,35	77±0,35	76,4±0,35
85	±0,40						82±0,40	81,4±0,40
▶ 90							87±0,40	86,4±0,40
95	±0,45							
▶ 100								
▶ 110	±0,50							
▶ 120								

Dimenzije označene s ▶ imaju prioritet

(nastavak) Tablica 58.

Debljina stijenke s (mm)	Nazivna mjera	2	2,2	2,5	2,8	3	3,5	4	4,5
	Tolerancija	±7,5% debljine stijenke							
Vanjski promjer		Unutarnji promjer Nazivni otvor i odgovarajuća tolerancija							
Nazivna mjera	Tolerancija								
▶ 4	±0,1								
5									
▶ 6									
7									
▶ 8									
9									
▶ 10		6±0,30							
11	±0,08	7±0,30							
▶ 12		8±0,25							
13		9±0,25							
14		10±0,20							
▶ 15		11±0,20							
16		12±0,15	11,6±0,20	11±0,20					
▶ 18		14±0,08	13,6±0,15	13±0,20					
▶ 20		16±0,08	15,6±0,08	15±0,15	14,4±0,15	14±0,20			
▶ 22		18±0,08	17,6±0,08	17±0,15	16,4±0,15	16±0,15			
24		20±0,08	19,6±0,08	19±0,15	18,4±0,15	18±0,15			
▶ 25		21±0,08	20,6±0,08	20±0,08	19,4±0,15	19±0,15			
26		22±0,08	21,6±0,08	21±0,08	20,4±0,15	20±0,15			
28		24±0,08	23,6±0,08	23±0,08	22,4±0,08	22±0,15			
▶ 30		26±0,08	25,6±0,08	25±0,08	24,4±0,08	24±0,08	23±0,15		
32	±0,15	28±0,15	27,6±0,15	27±0,15	26,4±0,15	26±0,15	25±0,15		
34		30±0,15	29,6±0,15	29±0,15	28,4±0,15	28±0,15	27±0,15		
▶ 35		31±0,15	30,6±0,15	30±0,15	29,4±0,15	29±0,15	28±0,15	27±0,15	
36		32±0,15	31,6±0,15	31±0,15	30,4±0,15	30±0,15	29±0,15	28±0,15	
38		34±0,15	33,6±0,15	33±0,15	32,4±0,15	32±0,15	31±0,15	30±0,15	
▶ 40		36±0,15	35,6±0,15	35±0,15	34,4±0,15	34±0,15	33±0,15	32±0,15	31±0,15
42	±0,20	38±0,20	37,6±0,20	37±0,20	36,4±0,20	36±0,20	35±0,20	34±0,20	33±0,20
▶ 45		41±0,20	40,6±0,20	40±0,20	39,4±0,20	39±0,20	38±0,20	37±0,20	36±0,20
48		44±0,20	43,6±0,20	43±0,20	42,4±0,20	42±0,20	41±0,20	40±0,20	39±0,20
▶ 50		46±0,20	45,6±0,20	45±0,20	44,4±0,20	44±0,20	43±0,20	42±0,20	41±0,20
52	±0,25	48±0,25	47,6±0,25	47±0,25	46,4±0,25	46±0,25	45±0,25	44±0,25	43±0,25
55		51±0,25	50,6±0,25	50±0,25	49,4±0,25	49±0,25	48±0,25	47±0,25	46±0,25
58		54±0,25	53,6±0,25	53±0,25	52,4±0,25	52±0,25	51±0,25	50±0,25	49±0,25
▶ 60		56±0,25	55,6±0,25	55±0,25	54,4±0,25	54±0,25	53±0,25	52±0,25	51±0,25
62	±0,30	58±0,30	57,6±0,30	57±0,30	56,4±0,30	56±0,30	55±0,30	54±0,30	53±0,30
65		61±0,30	60,6±0,30	60±0,30	59,4±0,30	59±0,30	58±0,30	57±0,30	56±0,30
▶ 70		66±0,30	65,6±0,30	65±0,30	64,4±0,30	64±0,30	63±0,30	62±0,30	61±0,30
75	±0,35	71±0,35	70,6±0,35	70±0,35	69,4±0,35	69±0,35	68±0,35	67±0,35	66±0,35
▶ 80		76±0,35	75,6±0,35	75±0,35	74,4±0,35	74±0,35	73±0,35	72±0,35	71±0,35
85	±0,40	81±0,40	80,6±0,40	80±0,40	79,4±0,40	79±0,40	78±0,40	77±0,40	76±0,40
▶ 90		86±0,40	85,6±0,40	85±0,40	84,4±0,40	84±0,40	83±0,40	82±0,40	81±0,40
95	±0,45	91±0,45	90,6±0,45	90±0,45	89,4±0,45	89±0,45	88±0,45	87±0,45	86±0,45
▶ 100		96±0,45	95,6±0,45	95±0,45	94,4±0,45	94±0,45	93±0,45	92±0,45	91±0,45
▶ 110	±0,50	106±0,50	105,6±0,50	105±0,50	104,4±0,50	104±0,50	103±0,50	102±0,50	101±0,50
▶ 120		116±0,50	115,6±0,50	115±0,50	114,4±0,50	114±0,50	113±0,50	112±0,50	111±0,50

Dimenzije označene s ▶ imaju prioritet

Precizne šavne čelične cijevi

hladno vučene ili hladno valjane s normalnim tolerancijama (DIN 2394) Tablica 59.

Debljina stijenke s (mm)	Nazivna mjera	1	1,2	1,5	1,8	2	2,2	2,5	3	3,5	4	4,5
	Toleran.	±10% debljine stijenke					±12% debljine stijenke					
Vanjski promjer		Unutarnji promjer Nazivni otvor i odgovarajuća tolerancija										
Nazivna mjera	Toleran.											
10	±0,15	8±0,40	7,6±0,40	7±0,40								
13		11±0,15	10,6±0,15	10±0,15								
16		14±0,15	13,6±0,15	13±0,15	12,4±0,15	12±0,15						
18		16±0,15	15,6±0,15	15±0,15	14,4±0,15	14±0,15						
20		18±0,15	17,6±0,15	17±0,15	16,4±0,15	16±0,15	15,6±0,15	15±0,15	14±0,15			
22		20±0,15	19,6±0,15	19±0,15	18,4±0,15	18±0,15	17,6±0,15	17±0,15	16±0,15			
25		23±0,15	22,6±0,15	22±0,15	21,4±0,15	21±0,15	20,6±0,15	20±0,15	19±0,15			
26		24±0,15	23,6±0,15	23±0,15	22,4±0,15	22±0,15	21,6±0,15	21±0,15	20±0,15			
28		26±0,15	25,6±0,15	25±0,15	24,4±0,15	24±0,15	23,6±0,15	23±0,15	22±0,15			
30		28±0,15	27,6±0,15	27±0,15	26,4±0,15	26±0,15	25,6±0,15	25±0,15	24±0,15	23±0,15		
32	±0,25	30±0,25	29,6±0,25	29±0,25	28,4±0,25	28±0,25	27,6±0,25	27±0,25	26±0,25	25±0,25		
35		33±0,25	32,6±0,25	32±0,25	31,4±0,25	31±0,25	30,6±0,25	30±0,25	29±0,25	28±0,25	27±0,25	
38		36±0,25	35,6±0,25	35±0,25	34,4±0,25	34±0,25	33,6±0,25	33±0,25	32±0,25	31±0,25	30±0,25	
40		38±0,25	37,6±0,25	37±0,25	36,4±0,25	36±0,25	35,6±0,25	35±0,25	34±0,25	33±0,25	32±0,25	31±0,25
45	±0,35		42,6±0,35	42±0,35	41,4±0,35	41±0,35	40,6±0,35	40±0,35	39±0,35	38±0,35	37±0,35	36±0,35
50			47,6±0,35	47±0,35	46,4±0,35	46±0,35	45,6±0,35	45±0,35	44±0,35	43±0,35	42±0,35	41±0,35
55			52,6±0,50	52±0,50	51,4±0,50	51±0,50	50,6±0,50	50±0,50	49±0,50	48±0,50	47±0,50	46±0,50
60	±0,50		57,6±0,50	57±0,50	56,4±0,50	56±0,50	55,6±0,50	55±0,50	54±0,50	53±0,50	52±0,50	51±0,50
70				67±0,60	66,4±0,60	66±0,60	65,6±0,60	65±0,60	64±0,60	63±0,60	62±0,60	61±0,60
80				77±0,70	76,4±0,70	76±0,70	75,6±0,70	75±0,70	74±0,70	73±0,70	72±0,70	71±0,70
90	±0,70				86,4±0,80	86±0,80	85,6±0,80	85±0,80	84±0,80	83±0,80	82±0,80	81±0,80
100						96±1,0	95,6±1,0	95±1,0	94±1,0	93±1,0	92±1,0	91±1,0
110						106±1,0	105,6±1,0	105±1,0	104±1,0	103±1,0	102±1,0	101±1,0
120						116±1,0	115,6±1,0	115±1,0	114±1,0	113±1,0	112±1,0	111±1,0

Navojne cijevi propisane čvrstoće

šavne i bešavne za 1÷100 atp (DIN 2442) Tablica 60.

Nazivni otvor		Vanjski promjer cijevi	1÷50 atp		80 atp		100 atp	
col	m	D [mm]	debljina stijenke s [mm]	težina cijevi [kg/m]	debljina stijenke s [mm]	težina cijevi [kg/m]	debljina stijenke s [mm]	težina cijevi [kg/m]
1/8''	6	10,2					2,65	0,493
1/4''	8	13,5					2,9	0,769
3/8''	10	17,2					2,9	1,02
1/2'' ▼	15	21,3					3,25	1,45
3/4'' ▼	20	26,9					3,25	1,90
1'' ▼	25	33,7					4,05	2,97
1 1/4''	32	42,2					4,05	3,84
1 1/2'' ▼	40	48,3					4,05	4,43
2'' ▼	50	60,3					4,50	6,17
2 1/2''	65	76,1					4,50	7,90
3''	80	88,9					4,85	10,1
4''	100	114,3					6,3	16,8
5''	125	139,7					8,0	25,9
6''	150	165,1					8,8	33,8

NAPOMENA:

Dimenzije koje nisu označene zacrnjenim trokutom (▼) treba po mogućnosti izbjegavati

11.6 ISPITIVANJE METALA

11.61 SVRHA I NAČINI ISPITIVANJA

Dijelovi neke konstrukcije općenito su podvrgnuti raznovrsnim opterećenjima, kojima se moraju opirati bez oštećenja. Proračun se u većini slučajeva radi pod pretpostavkom da ne smije doći ni do trajnih deformacija ni do prekida (loma). Ponašanje materijala izražava se njegovim **karakteristikama** koje konstruktor uzima za temelj proračuna čvrstoće i odgovarajuće sigurnosti, prema kojima se obično tumači ponašanje materijala tokom prerade, obrade i nakon ugradivanja. Sve te karakteristike ovise ne samo o vrsti i toku opterećenja već i o temperaturi, o kvaliteti površine i još o mnogim drugim uvjetima. Za stvarno upoznavanje svih tih karakteristika od bitne je važnosti da se prouče metode i postupci koji nedvosmisleno vode do jednoznačnih zaključaka o numeričkim iznosima spomenutih veličina jer je to jedini način za provjeravanje kvalitete, koja mora biti poznata i zajamčena još prije ugradivanja. Na tome se temelje one garancije koje očitavamo iz **standarda** za pojedine materijale jer standardne vrijednosti samo su odraz pouzdano izmjerenih veličina koje konstruktori širom svijeta prihvaćaju kao autentične rezultate ispitivanja prema opće priznatim i ustaljenim metodama.

Stoga je postalo neophodno da upoznamo postupke — pomoću kojih je moguće sigurno utvrditi te karakteristike, obično laboratorijskim putem jer to je baza za testiranje, tj. za legitimiranje materijala. Osnovna će se pažnja obratiti, dakako, standardnim metodama i opremi. Prema vrstama karakteristika koje treba provjeriti, a djelomično i prema pretpostavkama u koje grupiramo pojedine metode, za ispitivanja metala prihvaćamo kao posebno postupke ispitivanja:

- statičkih opterećenja
- tvrdoće
- žilavosti
- trajne čvrstoće te
- tehnološka ispitivanja
- ispitivanja bez razaranja i
- dinamička ispitivanja.

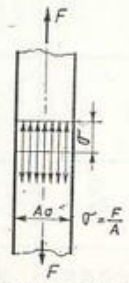
11.62 STATIČKA OPTEREĆENJA

Pri statičkim (mirnim) opterećenjima materijal je podvrgnut konstantnim vanjskim silama koje izazivaju određena naprezanja. Premda ta naprezanja teoretski svodimo — za proračun čvrstoće — samo na normalna i tangencijalna, tehnički materijal se pod raznim opterećenjima ne ponaša jednako. Tome je razlog što materijal nikad ne udovoljava uvjetima (da bude homogen, izotropan, elastičan i kontinuiran).

11.621 Ispitivanja vlačnih naprezanja (JUS C.A4.002–1954)

① načelno prikazuje ravnomjerno napregnut štap pod vlačnim opterećenjem.

Ispitivanje neće biti provedivo, ako se ne udovolji sasvim jednoznačnim uvjetima koji omogućuju besprijekorno upinjanje pokusnog štapa, tačno očitavanje nastalih deformacija i jamstvo da će lom nastupiti na određenom mjestu, najpogodnijem za očitavanje rezultata.



① Štap pod vlačnim opterećenjem

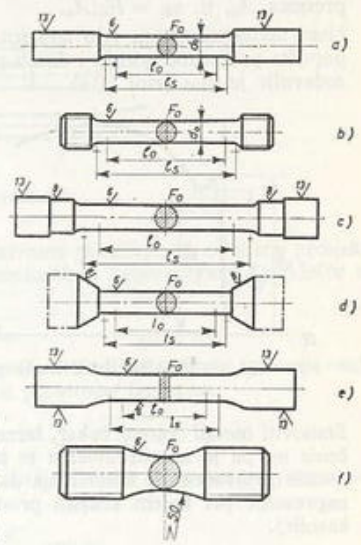
U tu svrhu propisuju se **pokusni uzorci (epruvete)** prema ②, gdje su vidljive različite varijante, i to:

a) okrugao uzorak s poluglatkim cilindričnim glavama
b) okrugao uzorak s navojem na glavama
c) okrugao uzorak s glatkim cilindričnim naslonima
d) okrugao uzorak s glatkim koničnim naslonima
e) plosnati uzorak s klinovitim upinjanjem
f) okrugao uzorak od sivog liva s navojnim upinjanjem.

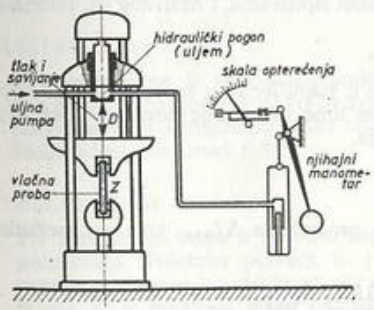
Osnovne su veličine:

A_0 = nazivni presjek štapa prije ispitivanja
l_0 = nazivna dužina štapa prije ispitivanja
l_s = stvarna dužina štapa presjeka F_0.

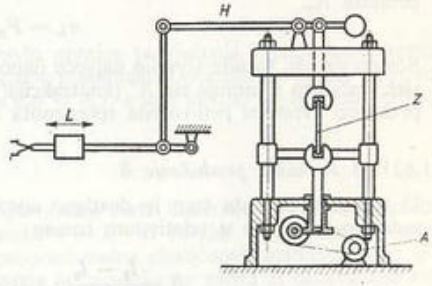
Stroj kojim se ispituju naprezanja zove se **kidalica** budući da pokus obično završava prekidom štapa. Na ③ vidimo univerzalnu izvedbu hidrauličnog stroja za ispitivanje (A = hidraulični pogon, Z = pokusni štap, D = tlak i izvijanje, P = klatneni manometar, S_k = mjerna skala opterećenja).



② Razni oblici pokusnog štapa



③ Kidalica (univerzalna)



④ Mehanička kidalica

Štap se upinje tako da su — zbog kuglastih kalota — mogući ograničeni pomaci. Time se osigurava slobodno aksijalno opterećenje tako da sile padaju u uzdužnu simetralu štapa. Posebnom se spravom tokom ispitivanja automatski iscrtavaju produženja Δl ovisno o veličini sile F. Ako se te veličine svedu na polaznu dužinu probe l_0 (tj. $\Delta l/l_0 = \varepsilon$ (odnosno na polazni presjek ($F/A_0 = \sigma$), dobiva se dijagram $\sigma - \varepsilon$.

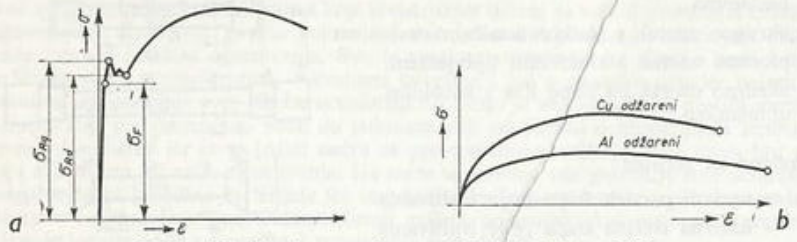
④ prikazuje shemu mehaničke kidalice s mehaničkim pogonom A, pokusnim štapom Z, glavnom polugom H i utegom L za elektronsko mjerenje sile i produženja.

Objašnjenje pojedinih pojava tokom ispitivanja u području elastičnih i plastičnih naprezanja vidi u prikazu svojstava metala (poglavlje 11.2), odnosno u dijelu o čvrstoći te na ⑤a i ⑤b.

11.621.01 *Granica razvlačenja* σ_R

To je kvocijent sile F_R, kod koje započinje intenzivnije produljenje štapa, i nazivnog presjeka A_0, tj. $\sigma_R = F_R/A_0$.

Neki materijali imaju vrlo izrazitu granicu razvlačenja, pri kojoj čak materijal znatno popušta pa imamo gornju i donju granicu, tj. σ_{RG} i σ_{RD}. Za tehnička razmatranja mjerodavnije je σ_{RG} (vidi ⑤a).



⑤ Materijal s izrazitom granicom razvlačenja (a) i bez nje (b)

Stanoviti metali (žareni bakar, žareni aluminij ⑤b) ne pokazuju izrazitu granicu razvlačenja σ_R pa je za određivanje te karakteristike potreban poseban kriterij. Kod takvih metala prihvaćena je konvencija da će ekvivalentna veličina biti vrijednost $\sigma_{0,2}$, tj. ono naprezanje pri kojem **trajno** produženje — nakon rasterećenja — iznosi 0,2% (vidi kasnije).

11.621.02 *Prekidna (tj. lomna) čvrstoća* σ_L

To je kvocijent maksimalne sile, primijenjene tokom ispitivanja, i nazivnog (tj. početnog) presjeka A_0.

$$\sigma_L = F_{max}/A_0$$

Strogo uzevši, to nije stvarno najveće naprezanje u štapu jer se u trenutku prekida presjek općenito smanjuje na A′ (kontrakcija!) pa se time naprezanje povisuje. Ipak je za prekidnu čvrstoću prihvaćena spomenuta relacija.

11.621.03 *Prekidno produženje* δ

U trenutku prekida štap je dostigao apsolutno produženje Δl_{max}, koje se, međutim, redovito prikazuje u relativnom iznosu:

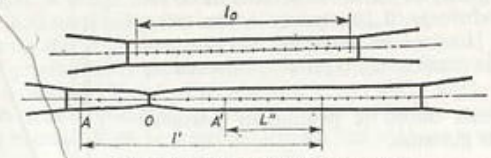
$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta l_{max}}{l_0} \cdot 100\,\%$$

tj. izražava se u postocima. Ono se općenito sastoji od dva dijela: od **ravnomjernog,** koje se u elastičnom području pokorava Hookeovu pravcu proporcionalnosti, i **lokalnog** u plastičnom području (zona kontrakcije).

Mjernu dužinu l_0 podijelimo prije pokusa na 20 (ili 10) jednakih razmaka ⑥ pa nakon prekida potražimo onu značku koja je najbliža prekinutom mjestu.

Tu značku obilježimo sa 0, a ostale značke (na tom kraćem odlomku) redom sa 1, 2, 3 (tačka A). Na drugom odlomku obilježit ćemo značke, također brojeći dalje od navedene 0 do isto tolikog broja (A′), a odatle dalje do broja jednakog polovini prvotno obilježenih razmaka (kod 20 razmaka, dakle do broja 10). Time dobivamo na našem primjeru nakon sastavljanja odlomaka ukupnu dužinu l'. Ako zamislimo da je prekid nastao u sredini štapa (što bi značilo jednako produženje s obje strane), možemo rekonstruirati tu deformaciju na kraćem odlomku tako da izmjerimo na dužem odlomku koliko bi se produžili

oni razmaci koji na kraćem odlomku nedostaju. Na ⑥ to su razmaci 3 do 10, dakle dužina l''. Zbrajanjem l' i l'' dobivamo onda ukupnu konačnu dužinu produženog štapa l_1. Ima i drugih načina koji su, međutim, manje tačni pa se za neke od njih i ne priznaje da zadovoljavaju.



⑥ Mjerenje prekidnog izduženja

Nazivna dužina štapa l_0 dobiva se u ovisnosti o nazivnom promjeru d_0, odnosno presjeku A_0, kako bi se dobile vrijednosti prikladne za međusobno uspoređivanje. Najčešće se uzima tzv. kratki proporcionalni štap dužine

$$l_0'' = 5 \cdot d_0 = 5{,}65\sqrt{A_0}$$

Izuzetno se primjenjuje i dugi proporcionalni štap ($l_0 = 10\,d_0$). Rezultate mjerenja onda zadajemo uz naznaku δ_5, odnosno δ_{10}, ali uvijek u postotnim iznosima.

11 621.04 *Kontrakcija* ψ

Suženje presjeka ΔA na mjestu prekida (kontrakcija) prikazuje se u omjeru prema nazivnom presjeku A_0, a izražava se postotno

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100 = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\,\%$$

Produženje δ i kontrakcija ψ karakteriziraju sposobnost materijala za deformaciju.

11.621.05 *Odnos* σ_R/σ_L

Za konstruktora je vrlo važan omjer između granice razvlačenja i prekidne čvrstoće, kao mjera za mogućnost očvršćivanja dotičnog materijala. Općenito se uzima da je kod normaliziranih nelegiranih čelika taj odnos 0,6 — 0,7, a kod hladno očvrsnutih i poboljšanih čelika čak iznad 0,9.

11.621.06 *Modul elasticiteta E*

Pri opterećenju štapa u početku naprezanje obično raste linearno, pa nastaju elastična produženja (Hookeov pravac), tj. po zakonu $\sigma = E \cdot \varepsilon$. Modul E predstavlja uspon pravca, a njegova je vrijednost obrnuto proporcionalna elastičnosti materijala: što je E manje, to je materijal elastičniji. Prema tome se modul elasticiteta E dobiva kao kvocijent naprezanja u nekoj odabranoj točki na Hookeovu pravcu i relativnog produženja ε. Analogna je ovisnost između $\sigma_{0,2}$ te produženja $\varepsilon = 0{,}2\%$ ⑦.

11.621.07 *Granica elasticiteta* σ_E

To je ono najviše naprezanje kod kojeg još ne nastupaju trajna produženja pa se prilikom rasterećenja potpuno poništava svaka deformacija. Instrumenti za ispitivanje σ_E moraju, dakako, pokazivati s tačnošću od 0,001% istezanja.

11.621.08 *Granica proporcionaliteta* σ_P

To je ono naprezanje pri kojem elastično produženje počinje odstupati od Hookeova pravca (vidi točku σ_P na ⑦). Određuje se vrlo teško pa kažemo općenito da je njezin iznos tek neznatno manji od σ_E.

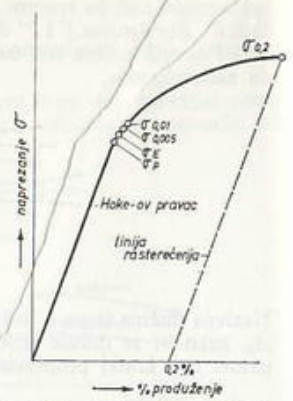
11.621.09 *Naprezanje* $\sigma_{0,2}$

Kao »nadomjestak« za granicu razvlačenja uzima se redovito $\sigma_{0,2}$, napose kod onih materijala koji nemaju izraženu σ_R (vidi 11.621.01). Dobiva se tako da se na apscisi odredi produženje 0,2%, pa se iz te tačke povuče paralela s Hookeovim pravcem. Sjecište paralele s krivuljom je granica $\sigma_{0,2}$ (kp/mm²) mjerena na ordinati ⑦.

Za precizna mjerenja dobro je primijeniti pokusne štapove s navojnim glavama.

Kako se vidi, $\sigma_{0,2}$ se razmjerno lako očitava. Ako se traže tačnije vrijednosti, može se uzeti kao osnova i tzv. **tehnička granica razvlačenja** $\sigma_{0,01}$ kod koje nastupa produženje 0,01%, a u krajnjem slučaju i $\sigma_{0,005}$, tj. naprezanje pri kojem nastaje produženje u iznosu 0,005% od nominalne dužine štapa ⑦.

Kazaljka instrumenta za ispitivanje $\sigma_{0,2}$ mora pokazivati tačnošću 0,05%.



⑦ Ovisnost između produženja i naprezanja $\sigma_{0,2}$

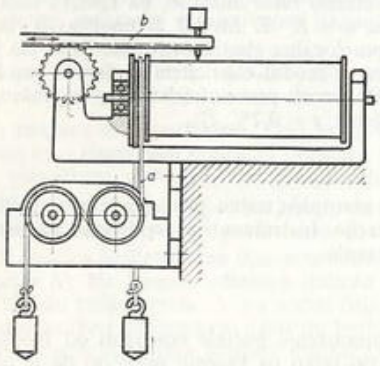
11.621.1 Sprave za mjerenje produženja

Za mjerenje produženja postoji na većini kidalica poseban uređaj, koji automatski bilježi dobivene podatke, i to u dijagramu $F/\Delta l$. Na taj način dobiva se dovoljno jasan uvid u tok plastičnih produženja, prvenstveno u pogledu granice razvlačenja (ako je metal ima), granice klonulosti i granice veličine ukupnog maksimalnog produženja.

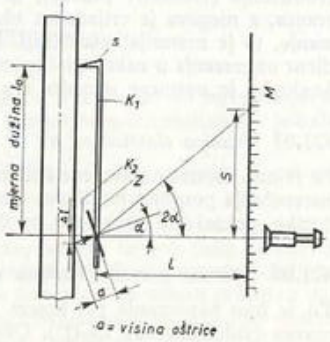
Međutim, u pogledu granice elasticiteta (σ_E i σ_P) takvi uređaji ne daju tačnost koja bi zadovoljila. Prekrivanje elastičnih i plastičnih deformacija te male vrijednosti elastičnih produženja onemogućuju da se to prati tako grubim uređajima. Potrebni su mnogo precizniji aparati, koje ćemo prikazati u daljnjem tekstu.

11.621.11 *Ekstenzometri*

Na ⑧ vidimo primjer jednostavnijeg uređaja za mjerenje produženja i istodobnu registraciju podataka na bubnju koji okreće vrpca a pod djelovanjem utega. Paralelno s osi bubnja pomiče se pisaljka b, pod djelovanjem opterećenja, pa na papiru oko bubnja ostaje iscrtan dijagram $F/\Delta l$. Ako okretanjem bubnja upravlja neki satni mehanizam, dobiva se i vremenski dijagram: $(\Delta l/\tau)$.



⑧ Ekstenzometar



⑨ Martensov aparat

11.621.12 *Martensov aparat*

⑨ prikazuje princip **Martensova zrcalnog ekstenzometra,** kojim se mogu mjeriti produženja u veličini od 0,000 2 mm. Sastoji se od dva uređaja, od kojih se jedan montira pa pokusnom štapu, a drugi na posebnom stalku. Krak k_1 prvog uređaja ima čvrstu oštricu s i urez u koji ulazi jedna oštrica malog kraka k_2. Druga oštrica kraka k_2 je pritegnuta na pokusnom štapu u udaljenosti L od oštrice s. Na kraku k_2 je okomito smješteno zrcalo z. Prilikom produljavanja pokusnog štapa udaljuje se sjedište kraka k_2 od sjedišta s za Δl, pri čemu se zakreću i krak k_2 i zrcalo, koje se pri tome nagiba za kut α. Za vrijeme dok se produljava šipka promatra se nastali odrez na dobro osvijetljenoj nepomičnoj skali M i očitava razmak S pa se može izračunati kut otklona α iz relacije:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = S/L$$

a time i produženje:

$$\Delta l = a \sin \alpha$$

Budući da je kut α vrlo malen ($\pm 2°$), može se Δl naći i direktno iz prijenosnog omjera koji zavisi od dužine a kraka k_2 i udaljenosti L skale M od zrcala z. Prijenosni omjer, naime, iznosi:

$$R = \frac{a \cdot \sin \alpha}{L \cdot \operatorname{tg} 2\alpha}$$

Kako je kod vrlo malih kutova približno $\sin \alpha = \alpha$, odnosno $\operatorname{tg} 2\alpha = 2\alpha$, prijenosni omjer poprimit će jednostavniji oblik:

$$R' = \frac{a}{2L}$$

što znači da produženje dobivamo izravno množenjem očitane veličine S sa prijenosnim omjerom R′:

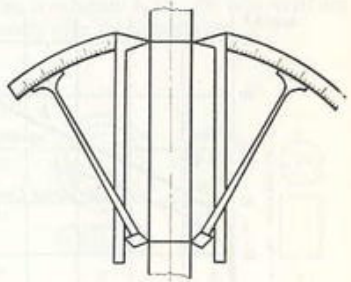
$$\Delta l = S \cdot R' = S \cdot a/2\,L$$

Kod većih kutova treba, dakako, provesti tačan račun. Da bi se eliminirale greške od sporednih savijanja, Martensov aparat je izveden **dvostruko,** tj. sa dva mjerna kraka na štapu, sa dvije skale i sa dva dogledala za promatranje. Mjerni krakovi sa zrcalima postavljeni su po jedan na dvije suprotne strane pokusnog štapa, pa će se zrcala tokom ispitivanja postepeno okretati u suprotne smjerove. Istodobno će se očitavanjem veličina S za svako zrcalo eliminirati eventualne greške time što će se uzimati aritmetska sredina između očitanih rezultata (vidi literaturu). Sprava je vrlo osjetljiva te zahtijeva pažljivo manipuliranje. Mjerni krakovi moraju biti najpreciznije izvedeni, a osoblje veoma pedantno, zato je ta metoda više-manje laboratorijskog karaktera, tj. za naučna ispitivanja.

U industriji se služimo praktičnijim spravama.

11.621.13 *Martens-Kennedyjev aparat*

Jedna od praktičnijih sprava je **Martens-Kennedyjev ekstenzometar** ⑩, kod kojeg je sprava za očitavanje rezultata izvedena uz mehanički prijenos. To, doduše, ograničava prijenosni omjer, ali je prikladnije za rukovanje. Najčešće se primjenjuje za određivanje granice elasticiteta $\sigma_{0,2}$. Nonijusi na vrhovima kazaljki omogućuju prilično tačna očitavanja. I ovdje se radi o dvostrukoj izvedbi, koja omogućava eliminaciju greški.


⑩ Martens-Kennedyjev aparat

Za praksu je prikladan još Amslerov ekstenzometar te pneumatski i električki (induktivni), koji su pobliže opisani u literaturi (Lit. 1), a za laboratorijske svrhe zrcalni aparat prema Wazauu, te elektronski uređaji koji udovoljavaju i najvećim zahtjevima u pogledu tačnosti (Lit. 2).

11.621.2 Krhki metali

Kod krhkih metala (npr. sivi liv) ne može se očekivati neka rastežljivost pa su ispitivanja manje umjesna jer već neka sitna greška u strukturi pomiče mjesto loma iz očekivane zone (mjehuri, uključine, troske i sl.). Zato se uzimaju probe prema ② f (JUS C.A4.013) pa će manje mjestimične greške doći do izražaja samo ako se nalaze otprilike u najtanjem dijelu štapa. Svaka druga neispravnost će se pritajiti jer je zaštićena povećanjem presjeka, čime se kompenzira njezin utjecaj. (Vidi još JUS C.A4.012.)

Napomena. Za ispitivanje vlačne čvrstoće za sivi liv vidi još

JUS C.A4.013—1958, a za kovkasti (temperni) čelik JUS C.A4.015—1958.

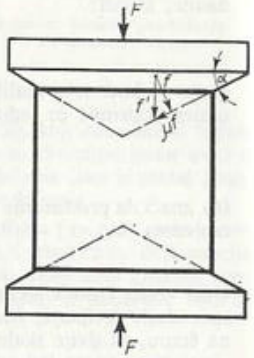
11.622 Ispitivanje tlačnih naprezanja

11.622.1 Čisti tlak

Pri tlačnim opterećenjima su sile iz ① suprotno usmjerene, a naprezanja se proračunavaju na isti način ($\sigma = F/A_0$).

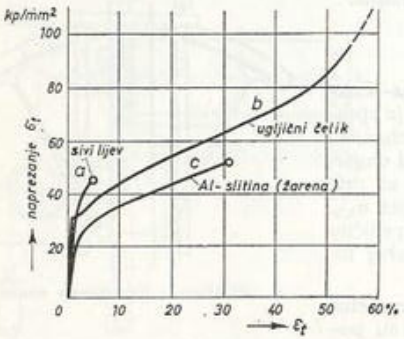
Općenito se ispitivanje provodi samo za **krte** materijale, gdje lom nastupa i pri čistim tlačnim opterećenjima. Takvi materijali pri tlaku pokazuju većinom znatno povoljnije ponašanje u pogledu čvrstoće nego pri vlaku pa se oni gotovo isključivo primjenjuju za tlačna opterećenja.

Na ⑪ vidimo princip upinjanja pokusnog štapa.

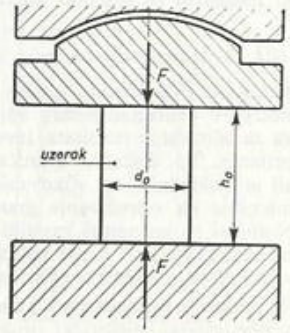


⑪ Upinjanje štapa pri pokusu na tlak

Za pokus se odabire štap promjera $d_0 = 10-30$ mm, visine $h_0 = (1-3)\,d_0$ i stavlja se između ravnih poliranih ploča. Sabija se pomoću preše ili univerzalnog stroja za ispitivanje, a pri tome se određuje skraćenje Δh u ovisnosti o sili F. Jedna od tlačnih ploča je uležištena preko kalote pa se može (ograničeno) okretati u svim pravcima. Time se kompenziraju eventualne neparalelnosti i osigurava aksijalnost opterećenja ⑬. Sila se nanosi postepeno, bez udarca, a dijagram se iscrtava automatski pa se dobiva dijagram prema ⑫ (krivulja a za sivi liv, b za cementacijski čelik, c za aluminijevu slitinu).



⑫ Dijagram tlačnih naprezanja za visi liv (a), cementacijski čelik (b) i aluminijsku slitinu (c)



⑬ Kuglasto (normalno) upinjanje uzorka

Relativno skraćenje, izraženo u postocima, iznosi:

$$\varepsilon_t = \Delta h/h_0 \cdot 100\ (\%)$$

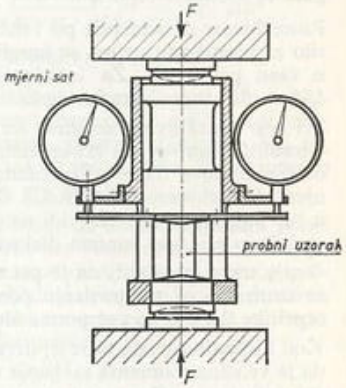
Pojedine karakteristike određuju se analogno kao za vlačna ispitivanja.

- **Prekidna tlačna čvrstoća:** $\sigma_{tL} = F_{max}/A_0$

  Lom nastupa općenito samo kod krtih materijala, i to pod kutom 45°, a u posebnim slučajevima čak paralelno s osi štapa (pukotine).
- **Granica tečenja** analogna je granici razvlačenja pri vlaku, a izračunava se kao kvocijent pripadne sile i nazivnog presjeka A_0. Ako ta granica nije izražena, određuje se $\sigma_{0,2}$ za tlak (preciznim mjerenjima). Vrijednosti po pravilu odgovaraju onima pri vlačnom opterećenju.
- **Granica elasticiteta** σ_E i **modul** E mogu se odrediti preciznim mjerenjem, kao pri vlaku.

Pri normalnim tlačnim pokusima i unatoč najpažljivijim pripremama nastupaju **sile trenja,** koje ometaju deformaciju na krajevima. Ta se smetnja proširuje i na unutrašnjost pa se kod krtih materijala prijelom većinom formira konično (konični poklizi). Protivno tome, rastežljivi metali — iako **kod njih i ne dolazi do loma** — deformiraju se stvaranjem »trbuha«. Kod njih se zbog toga uvode konične ploče umjesto ravnih pa štap i unatoč većoj plastičnoj deformaciji ostaje cilindričan.

Uz dobro podmazivanje zadovoljava nagib ploča od 3°. ⑬ pokazuje normalno, a ⑭ konično upinjanje.



⑭ Konično upinjanje zgloba s uređajem

11.622.2 Pokus izvijanja

Izvijanje se ispituje kod vitkih dijelova opterećenih na tlak kako bi se proučili razni utjecaji upinjanja. Međutim, pri tačnom aksijalnom opterećenju i određenom upinjanju takav pokus uopće nije potreban jer se kritično opterećenje koje vodi izvitoperenju štapa može proračunati prema zakonima iz teorije elasticiteta.

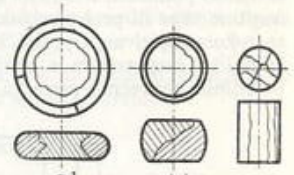
11.622.3 Odnos h_0/d_0

Otpornost metala i deformacije kod tlaka mnogo ovise o odnosu h_0/d_0. Za istu veličinu skraćenja potrebno je to veće opterećenje što je epruveta niža (vidi literaturu).

11.622.4 Formiranje prijeloma

Pucanje štapa odvija se različito, i to ovisno o vrsti materijala. Na ⑮ vidi se ovo:

- u slučaju a (rastežljiv materijal) pucanje ide po smjerovima dvaju suprotnih stožaca,
- b vrijedi za slabo rastežljive metale (dijagonalno pucanje),
- c je slučaj drobljenja kod krhkih metala, podmazano.



⑮ Prekid štapa uslijed tlačnog naprezanja

Ispupčenje epruvete otežava računanje čvrstoće, pogotovo pomoću A_0, jer tu nema klonulosti. Stvarna površina prijelomne površine slijedi iz konstantnosti volumena ($v = A_0 \cdot h_0 = A_k \cdot h_1 = $ konst, pa je $F_1 = F_0 h_0/h_1$). Ovdje se indeks 1 odnosi na konačno stanje.

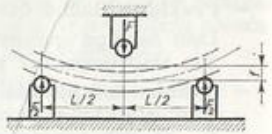
11.623 Ispitivanje otpornosti na savijanje

Ispitivanje savijanja napose je aktualno kod metala niske rastežljivosti (sivi liv i nisko popušteni čelik itd.) jer krhki metali u praktičnoj upotrebi stvarno pucaju najčešće pod djelovanjem savojnih opterećenja. Pri tom ispitivanju se osim sile F mjeri i progib f. ⑯ prikazuje princip rada.

Otpornost savijanju određuje se formulom:

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W} = \frac{F \cdot l}{\pi \cdot d_0^3/32} = \frac{F \cdot l}{0{,}1\, d_0^3}$$

gdje je moment otpora $W = \pi \cdot d_0^3/32$ cm³.



⑯ Ispitivanje otpornosti na savijanje

Rastežljivost se ocjenjuje po veličini progiba f. Kao mjerilo za plastičnost uzima se progib koji epruveta postiže u času prijeloma. Za ispitivanje obično se propisuju tzv. duga šipka s omjerom $l_0/d_0 = 20$ i tzv. kratka šipka s omjerom $l_0/d_0 = 5$.

Pri vrlo rastežljivim metalima ne dolazi do loma pa se njihova čvrstoća i ne može ovime odrediti. Naprotiv, za krhke metale ima takvo ispitivanje poseban smisao jer omogućuje ocjenu njihove (iako vrlo malene) plastičnosti. Karakteristično je za ispitivanje savijanjem da djelovanje površinskih slojeva štapa dolazi najviše do izražaja jer su naprezanja u tim slojevima najveća (vidi nauku o čvrstoći). Stoga je to ispitivanje vrlo prikladno za slučajeve gdje nas zanima djelovanje površine (npr. ljevačke i valjačke kore).

Ovdje treba podsjetiti da je pri tlaku modul elasticiteta veći nego pri vlaku. Zbog toga se neutralna os pri savijanju pomiče prema unutra (gdje su tlačna naprezanja), i to za otprilike 2 do 8%, već prema situaciji u pogledu grafita i visini opterećenja.

Kod lijevanih metala to je ispitivanje prikladno i sa stajališta unutrašnjih grešaka. Budući da je veličina momenta savijanja maksimalna u sredini ($l/2$), na rezultate ispitivanja utjecat će samo greške u tom opasnom presjeku, dok one udaljenije neće doći do izražaja pa ispitivanje neće beskorisno propasti. To smanjuje broj neuspjelih ispitivanja.

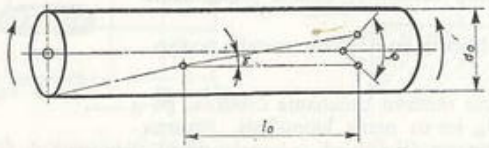
Prijelomni progib koji nastaje do trenutka pucanja služi kao mjerilo krutosti materijala. Ponekad je interesantan i savojni faktor metala (kvocijent savojne i vlačne čvrstoće), koji — na primjer pri sivom livu — iznosi 1,6—2,0.

Ispitivanje savijanjem primjenjuje se i pri tehnološkim ispitivanjima (vidi kasnije). Za ispitivanje čelika savijanjem vidi standard JUS C.A4.005—1962.

11.624 Ispitivanje torzije

Torzijsko (tj. uvojno) opterećenje ima niz specifičnosti koje se ne mogu precizno obuhvatiti ni vlakom ni tlakom, iako su oni mjerodavni za proračun naprezanja. Zato se i rjeđe primjenjuje statičko ispitivanje metala na torziju.

Pokusni štap je okruglog presjeka s četvrtastim glavama (radi upinjanja) koje se mogu aksijalno pomicati. Moment koji nastaje s jedne strane mjeri se na drugoj strani pomoću nagibne vage ili preko pritiska ručice na baždarnom aparatu. Dimenzije pokusnog štapa se tokom ispitivanja praktički ne mijenjaju. Deformacije se po poprečnim presjecima jednoliko raspoređuju s obzirom na duljinu. To su, dakle, kružna pomicanja čestica pojedinih poprečnih presjeka po ravninama okomitim na os štapa ⑰.



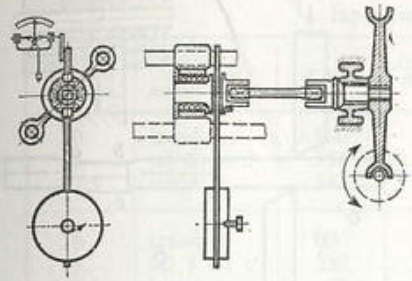
⑰ Deformacije pri torzionim naprezanjima

11.624.1 Uređaji za ispitivanje torzije

Ispitivanje se provodi na tzv. **zakretalici** prema ⑱. Time se dobivaju ne samo podaci za smična naprezanja τ nego i zakretni kut φ te tzv. smični kut γ, što je potrebno za izračunavanje smičnog modula G. Zakretalica omogućuje direktno određivanje momenta zakretaja M i zakretnog kuta φ pa imamo $\gamma = \varphi \cdot d_0/2\, l_0$. Za smično naprezanje imamo $\tau = 16\, M/\pi \cdot d_0^3$, dok je modul smika određen izrazom:

$$G = \frac{32\, M\, l_0}{\varphi \cdot \pi \cdot d_0^4} = \frac{\tau}{\gamma} \text{ kp/°cm}^2$$

(Vidi Praktičar 1, poglavlje 42).



⑱ Ispitivanje torzije zakretalicom

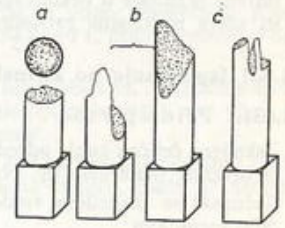
Karakteristična naprezanja pri tim ispitivanjima jesu: naprezanje na granici proporcionaliteta, odnosno elasticiteta τ_E, zatim na granici razvlačenja τ_R i maksimalno naprezanje pri prekidu τ_{max}.

Pri procjenjivanju dobivenih podataka moramo uzeti u obzir da oni ne prikazuju posve tačne vrijednosti jer se elastične i plastične deformacije ne raspoređuju radijalno po poprečnom presjeku štapa sasvim jednoliko. Znatni unutrašnji dijelovi poprečnog presjeka ostaju elastično deformirani, dok su drugi vanjski dijelovi već plastično deformirani. Nadalje, nejednoličan raspored deformacija po poprečnom presjeku izaziva u štapu dodatne napetosti koje djeluju na veličinu trajnih deformacija.

11.624.2 Oblik prekida

Na ⑲ vidimo oblik prekida od torzionih opterećenja. U slučaju a prevladavaju smična (odrezna) naprezanja τ, tj. materijal se slabije opire odrezu. Metal b se bolje opire odrezu pa je prijelom nastao pod utjecajem normalnih naprezanja σ. Oblik c prikazuje drvenasti prijelom, tipičan za nehomogenu teksturu metala.

Ispitivanje torzije je, dakle, vrlo prikladno za otkrivanje teksturnih karakteristika metala.



⑲ Prekid štapa uslijed torzionog naprezanja

11.625 Ispitivanje smičnih naprezanja (Odrez)

Ovo se ispitivanje obično provodi na univerzalnoj kidalici tako da se odrez štapa izvodi na jednom presjeku ⑳a ili na dva presjeka ⑳b.

Promjer pokusnog štapa uzima se obično sa 10—25 mm. Pri ispitivanju određuje se maksimalno opterećenje F_{max} da bi se mogla proračunati smična čvrstoća.

$$\tau_s = F_{max}/F_0 \text{ za jednorezno ispitivanje}$$

$$\tau_s = F_{max}/2F_0 \text{ za dvorezno ispitivanje.}$$

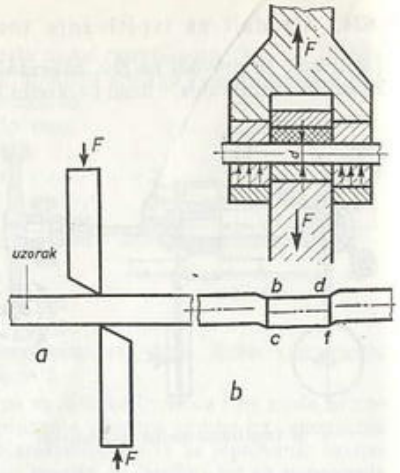
Međutim, naprezanja se uvijek raspoređuju mnogo kompliciranije nego je to moguće zamisliti pri izračunavanju. Pokusni štap ne podliježe čistom smiku (odrezu), već i tlaku i savijanju, što navedena formula uopće ne uzima u obzir. To napose vrijedi za rastežljive metale.

Stoga treba smatrati da rezultati ispitivanja imaju samo konvencionalno značenje pa služe jedino za orijentaciju ili za komparaciju karakteristika materijala.

Za neke metale možemo se služiti ovom usporedbom smične i vlačne čvrstoće:

Materijal	Omjer τ_S/σ_L
Konstrukcijski čelik	0,7 — 0,8
Aluminijske slitine	0,6 — 0,7
Magnezijeve slitine	0,4 — 0,5
Sivi liv	1,1

Napomena. Kod limova se umjesto odreza uzima probijanje rupa pa se izračunava čvrstoća $\tau_{oR} = F_{max}/\pi \cdot s \cdot d$, gdje je d promjer rupe, a s debljina lima.



⑳ Jednorezno i dvorezno smično opterećenje

11.63 ISPITIVANJE TVRDOĆE

Tvrdoća se ispituje statičkim ili dinamičkim postupkom. Statički postupci imaju prednost što se lakše ponavljaju. Osim toga dinamički postupci općenito daju samo komparativne rezultate u nekom ograničenom području. Jedna im je ipak prednost u tome što su takva ispitivanja provedena ručnim i neosjetljivim spravama.

11.631 Ispitivanje po Brinellu (JUS C.A4.003—1962)

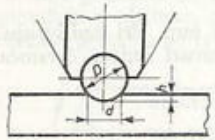
11.631.1 Princip rada

Zakaljena čelična kugla određenog promjera D utiskuje se određenom silom P u površinu ispitivanog materijala ㉑. Nastala udubina promjera d je mjerilo tvrdoće — tablica 3.

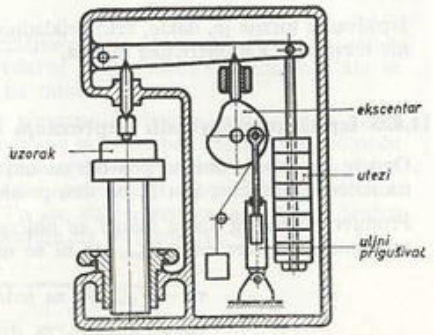
Računski se Brinellova tvrdoća HB određuje formulom:

$$HB = \frac{2F}{\pi \cdot D\,(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad kp/mm^2$$

pri čemu je $h = 0{,}5\,(D - \sqrt{D^2 - d^2})$.



㉑ Ispitivanje tvrdoće po Brinellu



㉒ Uređaj za ispitivanje Brinellove tvrdoće

Potrebna je tačnost očitanja promjera kalote od 1/100 mm, što se postiže optičkim povećalom, koje je obično ugrađeno u aparat. Principijelan prikaz uređaja vidimo na ㉒.

Utisnuće mora biti dovoljno udaljeno od ruba predmeta ($\geqq 2d$). Što se tiče vrste opterećenja, treba naglasiti da se ne mogu uspoređivati rezultati pokusa s različitim stupnjevima opterećenja ($F = a \cdot D^2$), pa se faktor a odabire tako da promjer d kalote leži između 0,2 i 0,7 D. Za uobičajene promjere $D = 10 - 5 - 2{,}5$ mm vidimo potrebnu silu kod nekih metala iz tablice:

Ispitivanja po Brinellu Tablica 1.

Promjer kuglice D u mm	Debljina ispitanog metala u mm	F u kg	Odnos F/D^2	Vrsta metala	Približna tvrdoća metala	Trajanje djelovanja sile F u s
10 5 2,5	iznad 6 od 3 do 6 ispod 3	3 000 750 187,5	30	željezo	do 140 iznad 140 do 150	30 15
10 5 2,5	iznad 6 od 3 do 6 ispod 3	1 000 250 62,5	10	bakar, mjed, bronca, Al- i Mg-slitine i slično	32—130	30
10 5 2,5	iznad 6 od 3 do 6 ispod 3	250 62,5 15,6	2,5	aluminij i antifrikcijske slitine	8—35	60

Upotreba pojedinih kuglica ovisi i o debljini materijala. Kod pretankih predmeta pojavili bi se na protivnoj strani tragovi pa bi djelovala i tvrdoća podloge. Trajanje ovisi o samoj tvrdoći: mekši se metali ispituju dulje. Time se nastoji da se metalu dade prilika za očvršćenje koje bi trebalo zaustaviti prodiranje kuglice.

Utiskivanje mora početi bez sudara, postepeno, tako da se puno opterećenje postiže tokom 15 do 30 s. Uzorak ostaje pod opterećenjem 15, 30 ili 60 s, prema gornjoj tablici. Tada se tek izvrši mjerenje.

Pri izvještavanju tvrdoće treba označiti uvjete uz koje je ona dobivena, i to indeksom koji obuhvaća promjer kuglice (mm), opterećenje (kp) i trajanje opterećenja (s), npr. $H_{5/250/30}$. Brinellova metoda vrijedi samo za tvrdoće do 450 kg/mm².

Budući da kuglica ima tvrdoću oko 650 kg/mm², moglo bi kod premale razlike u tvrdoći između kuglice i materijala doći do plastičnih deformacija kuglice, dakle do nerealnih rezultata mjerenja.

11.631.2 Odnos tvrdoće i čvrstoće

Iz Brinellove tvrdoće se (vrlo grubo) može zaključivati o čvrstoći materijala, ali samo za određene vrste metala. Radi orijentacije dajemo njihov odnos za nekoliko slučajeva.

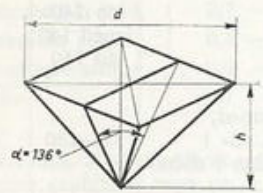
Odnos čvrstoće i tvrdoće materijala Tablica 2.

Materijal	σ_L/HB	Materijal	σ_L/HB
Čelik	0,35	cink (štrcani)	0,42
Sivi liv	(0,10)	Al-slitina	0,35
Bakar (žareni)	0,35	Al-lijev	0,26
Bakar hladno deformiran	0,40	magnezij	0,40
Al-bronca	0,43	bijela ležajna kovina	0,22

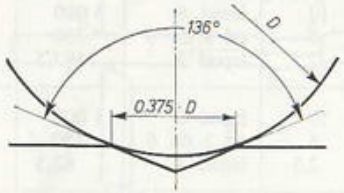
Napomena. Brinellov postupak ne odgovara za tanke otvrdnute površinske slojeve, niti za suviše uske površine ili za suviše krupne predmete. Rezultati označuju stanovitu **prosječnu** vrijednost odnosnog područja.

11.632 Ispitivanje tvrdoće po Vickersu (JUS C.A4.030)

Vickersova metoda je načelno jednaka Brinellovoj. Razlika je u tome što je: penetrator (element utiskivanja) četverostrana istostranična dijamantna piramida s vršnim kutom (između dviju suprotnih ploha) od 136° (tolerancije ± 30′) tj. prema ㉓. Detalj utisnuća vidimo na ㉔.



㉓ Penetrator za mjerenje tvrdoće po Vickersu



㉔ Detalj utisnuća prema Vickersu

Geometrijski proizlazi za tetivu utisnutog dijela Brinellove kuglice da odgovara upravo utisnuću Vickersove piramide pri 136°. Dužina te tetive je 0,375 *D*. To vrijedi do tvrdoće 300 – 400 kp/mm². Kao opterećenje uzima se jedna od ovih sila *F*: 1 – 5 – 10 – 20 – – 30 – 50 – 80 – 120 kp. Budući da je kut konstantan, rezultati ne ovise o odnosu opterećenja i dubine prodiranja. Najčešće se uzima opterećenje od 30 kp. Rezultati se dobiju već kod malih sila zbog oštrice i velike tvrdoće piramide.

Nakon utiskivanja, koje traje kao i kod Brinella, izmjeri se dijagonala udubine *d*, pa se tvrdoća izračunava formulom:

$$HV = 1{,}854\,4\ F/d^2\ \text{kp/mm}^2$$

U praksi se služimo tablicom koja ima već izračunane vrijednosti po toj formuli (tablica 4).

Rezultati ispitivanja po Vickersu i po Brinellu praktički su jednaki – do tvrdoće 450 kp/mm². Brinell se dalje i ne primjenjuje, dok se Vickersovom metodom može ispitati praktički svaka tvrdoća metala. Prikladna je i za ispitivanje tankih površina te tankih površinskih slojeva otvrdnutih metala. Rezultati su neovisni od primijenjenog opterećenja, a površina ispitivanog predmeta tek se neznatno oštećuje. Loša je strana Vickersove metode osjetljivost u pogledu homogenosti materijala (jer se penetratorom zahvaća samo uže područje), ali i u pogledu rukovanja budući da se krhki šiljak može oštetiti. Mora se svakako osigurati tačno vertikalno utiskavanje, bez udara.

11.633 Ispitivanje tvrdoće po Rockwellu (JUS C.A4.031)

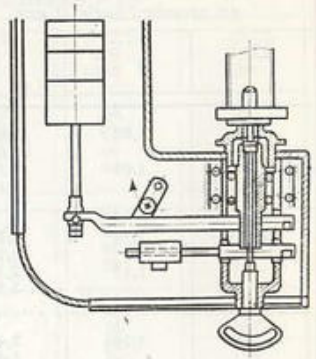
11.633.1 Osnovne upute

Rockwellova metoda radi s različitim vrstama penetratora i po materijalu i po dimenzijama. Za ispitivanje tvrdih metala upotrebljava se dijamant, a za mekše čelična kuglica. Dijamant je uvijek istog oblika i veličine (stožac s vršnim kutom 120° i radijusom zaobljenja $r = 0{,}2$ mm), dok promjeri čeličnih kuglica iznose 1/16″, 1/8″ ili 2,5 mm.

Različita su i opterećenja. Za dijamant se uzima 150 ili 60 kp. Kod čeličnih kugli 1/16″ i 1/8″ odabiremo 100 kp, a za promjer 2,5 uzimamo 187,5 – 62,5 – 31,2 kp. To je

slično kao kod Brinella, pa se na aparaturi za kuglicu od 2,5 mm mogu izvršiti i ispitivanja po njegovoj metodi ㉕.

Na ㉕ vidimo takav uređaj koji se sastoji od dva sistema. Jedan služi za **predopterećivanje,** pri kojem na penetrator djeluje sila od 10 kp. Drugi sistem služi za **glavno** opterećivanje. Sila se može i podešavati – kako smo već naznačili – tako da penetrator može dobiti **ukupno** (tj. zbrojeno) opterećenje od 31,2 – 60 – 62,5 – 100 – 150 – 187,5 kp. Rezultat se očitava na skali koja ima dvostruku podjelu: od 0 do 100 i od 0 do 130. Na njoj se registrira pomicanje penetratora, i to tako da svaki stupanj na skali znači pomak od 0,002 mm u dubinu. Skala je obično kružnog tipa, gdje početak i kraj padaju zajedno. Obično je crne boje i označena slovom C (cone = stožac). Skala s podjelom na 130 dijelova ima tu maksimalnu vrijednost na brojci 30 crne skale. Obično je crvena i označena slovom B (ball = kugla). Nula je, dakle, za obje skale na istom mjestu, pa se i intervali za pojedini stupanj podudaraju. Stoga imamo za tvrdoću po Rockwellu uglavnom dvije oznake: HR_b i HR_c.



㉕ Rockwellov aparat

Veličina kugle, odnosno opterećenja odabire se prema debljini materijala koja inače u načelu mora biti 10 puta veća od otiska koji se postiže. Kao rezultat treba prihvatiti srednju vrijednost od bar tri otiska, razmaknuta međusobno najmanje 3 mm. Opterećivanje se mora izvršiti postepeno (bez udara) i tačno vertikalno na ispitivanu površinu.

11.633.2 Oznake Rockwellove tvrdoće i numeričke vrijednosti

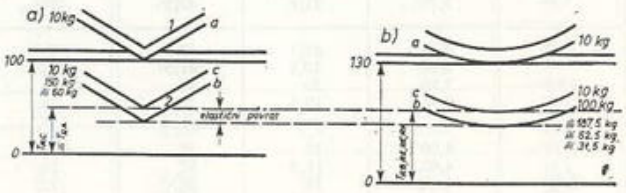
Ovisno o tome da li se Rockwellova metoda primjenjuje na mjerenje kuglicom (ball) ili konusom (cone), rezultati mjerenja će se označavati sa HRb, odnosno HRc.

U literaturi nalazimo i oznake HRB, odnosno HRC, a često i HR_b, odnosno HR_c. Također nailazimo na oznake koje uzimaju u obzir silu *F* te razlike u podjeli skale, no u praksi se rijetko primjenjuju.

Usporedbene podatke o rezultatima mjerenja vidi u tablici 5. Za Brinellovu tvrdoću imamo tablicu 3, a za Vickersovu tablicu 4.

11.633.3 Postupak ispitivanja

Izglađena i očišćena površina materijala stavi se u aparat i utisne se penetrator od 10 kg (predopterećenje!), dok ne dođe u položaj a ㉖. Kazaljka pri tome dobiva sasvim neodređen položaj pa zato u tom trenutku zaokrećemo skalu tako da kazaljka dođe na maksi-



㉖ Faze ispitivanja tvrdoće po Rockwellu

Tvrdoća po Brinellu HB

Tablica 3.

Promjer utiska d mm			Tvrdoća po Brinellu			
pri promjeru kugle D mm			pri opterećenju F kp			
2,5	5	10	15,6 62,5 250	31,2 125 500	62,5 250 1000	187,5 750 3000
0,50	1,00	2,00	79	158	315	946
		2,05	75	150	300	899
	1,05	2,10	72	143	286	856
		2,15	68	136	273	818
0,55	1,10	2,20	65	130	260	780
		2,25	62	124	248	745
	1,15	2,30	59	119	238	712
		2,35	57	114	228	682
0,60	1,20	2,40	54	109	218	653
		2,45	52	105	209	627
	1,25	2,50	50	100	201	601
		2,55	48	96	193	578
0,65	1,30	2,60	46	93	185	555
		2,65	44	89	178	534
	1,35	2,70	43	86	171	514
		2,75	41	83	165	495
0,70	1,40	2,80	40	80	159	477
		2,85	39	77	154	461
	1,45	2,90	37	74	148	444
		2,95	36	72	143	429
0,75	1,50	3,00	35	69	139	415
		3,05	34	67	134	401
	1,55	3,10	32	65	129	388
		3,15	31	63	125	375
0,80	1,60	3,20	30	61	121	363
		3,25	29	59	117	352
	1,65	3,30	28	57	114	341
		3,35	27,5	55	110	330
0,85	1,70	3,40	26,8	53,5	107	321
		3,45	26	52	104	311
	1,75	3,50	25	50	101	302
		3,55	24,5	49	98	293
0,90	1,80	3,60	23,8	47,5	95	285
		3,65	23	46	92	277
	1,85	3,70	22,5	45	90	269
		3,75	21,8	43,5	87	262
0,95	1,90	3,80	21,3	42,5	85	255
		3,85	20,8	41,5	83	248
	1,95	3,90	20	40	80	241
		3,95	19,5	39	78	235
1,00	2,00	4,00	19	38	76	229
		4,05	18,5	37	74	223
	2,05	4,10	18	36	72	217
		4,15	17,7	35,5	71	212

(nastavak) Tablica 3.

Promjer utiska d mm			Tvrdoća po Brinellu			
pri promjeru kugle D mm			pri opterećenju F kp			
2,5	5	10	15,6 62,5 250	31,2 125 500	62,5 250 1000	187,5 750 3000
1,05	2,10	4,20	17,2	34,5	69	207
		4,25	16,8	33,5	67	201
	2,15	4,30	16,5	33	66	197
		4,35	16	32	64	192
1,10	2,20	4,40	15,5	31	62	187
		4,45	15,2	30,5	61	183
	2,25	4,50	15	30	60	179
		4,55	14,5	29	58	174
1,15	2,30	4,60	14,2	28,5	57	170
		4,65	14	28	56	167
	2,35	4,70	13,5	27	54	163
		4,75	13,2	26,5	53	159
1,20	2,40	4,80	13	26	52	156
		4,85	12,8	25,5	51	152
	2,45	4,90	12,5	25	50	149
		4,95	12,2	24,5	49	146
1,25	2,50	5,00	12	24	48	143
		5,05	11,8	23,5	47	140
	2,55	5,10	11,5	23	46	137
		5,15	11,1	22,2	44,4	133
1,30	2,60	5,20	10,9	21,8	43,7	131
		5,25	10,7	21,4	42,8	128
	2,65	5,30	10,5	21	41,9	126
		5,35	10,2	20,5	41	123
1,35	2,70	5,40	10	20,1	40,2	121
		5,45	9,8	19,7	39,4	118
	2,75	5,50	9,6	19,3	38,6	116
		5,55	9,5	19	37,9	114
1,40	2,80	5,60	9,3	18,5	37,1	111
		5,65	9,1	18,2	36,4	109
	2,85	5,70	8,9	17,8	35,7	107
		5,75	8,8	17,5	35,0	105
1,45	2,90	5,80	8,6	17,2	34,3	103
		5,85	8,4	16,8	33,7	101
	2,95	5,90	8,3	16,5	33,1	99
		5,95	8,1	16,2	32,4	97
1,50	3,00	6,00	7,9	15,8	31,8	95
	3,05	6,10	7,7	15,3	30,7	92
1,55	3,10	6,20	7,4	14,8	29,6	89
	3,15	6,30	7,1	14,3	28,5	86
1,60	3,20	6,40	6,9	13,8	27,5	83
	3,25	6,50	6,6	13,3	26,5	80
1,65	3,30	6,60	6,4	12,8	25,6	77
	3,35	6,70	6,2	12,3	24,7	74

Tvrdoća po Vickersu HV za $F = 10$ kp

Tablica 4.

Dijagonala mm	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,10.	1 854	1 818	1 782	1 748	1 715	1 682	1 650	1 620	1 590	1 561
0,11.	1 535	1 505	1 478	1 452	1 427	1 402	1 378	1 355	1 332	1 310
0,12.	1 288	1 267	1 246	1 226	1 206	1 187	1 168	1 150	1 132	1 114
0,13.	1 097	1 081	1 064	1 048	1 033	1 018	1 003	988	974	960
0,14.	946	933	920	907	894	882	870	858	847	835
0,15.	824	813	803	792	782	772	762	752	743	734
0,16.	724	715	707	698	690	681	673	665	657	649
0,17.	642	634	627	620	613	606	599	592	585	579
0,18.	572	566	560	554	548	542	536	530	525	519
0,19.	514	508	503	498	493	488	483	478	473	468
0,20.	464	459	455	450	446	441	437	433	429	425
0,21.	421	417	413	409	405	401	398	394	390	387
0,22.	383	380	376	373	370	366	363	360	357	354
0,23.	351	348	345	342	339	336	333	330	327	325
0,24.	322	319	317	314	312	309	306	304	302	299
0,25.	297	294	292	290	287	285	283	281	279	276
0,26.	274	272	270	268	266	264	262	260	258	256
0,27.	254	253	251	249	247	245	243	242	240	238
0,28.	237	235	233	232	230	228	227	225	224	222
0,29.	221	219	218	216	215	213	212	210	209	207
0,30.	206	205	203	202	201	199	198	197	196	194
0,31.	193	192	191	189	188	187	186	185	183	182
0,32.	181	180	179	178	177	176	175	173	172	171
0,33.	170	169	168	167	166	165	164	163	162	161
0,34.	160	160	159	158	157	156	155	154	153	152
0,35.	151	151	150	149	148	147	146	146	145	144
0,36.	143	142	142	141	140	139	138	138	137	136
0,37.	136	135	134	133	133	132	131	131	130	129
0,38.	128	128	127	126	126	125	125	124	123	123
0,39.	122	121	121	120	120	119	118	118	117	117
0,40.	116	115	115	114	114	113	113	112	111	111
0,41.	110	110	109	109	108	108	107	107	106	106
0,42.	105	105	104	104	103	103	102	102	101	101
0,43.	100	99,8	99,4	98,9	98,5	98,0	97,5	97,1	96,7	96,2
0,44.	95,8	95,3	94,9	94,5	94,1	93,6	93,2	92,8	92,4	92,0
0,45.	91,6	91,2	90,8	90,4	90,0	89,6	89,2	88,8	88,4	88,0
0,46.	87,6	87,3	86,9	86,5	86,1	85,8	85,4	85,0	84,7	84,3
0,47.	83,9	83,6	83,2	82,9	82,5	82,2	81,8	81,5	81,2	80,8
0,48.	80,5	80,2	79,8	79,5	79,2	78,8	78,5	78,2	77,9	77,5
0,49.	77,2	76,9	76,6	76,3	76,0	75,7	75,4	75,1	74,8	74,5
0,50.	74,2	73,9	73,6	73,3	73,0	72,7	72,4	72,1	71,9	71,6
0,51.	71,3	71,0	70,7	70,5	70,2	69,9	69,6	69,4	69,1	68,8
0,52.	68,6	68,3	68,1	67,8	67,5	67,3	67,0	66,8	66,5	66,3
0,53.	66,0	65,8	65,5	65,3	65,0	64,8	64,5	64,3	64,1	63,8
0,54.	63,6	63,4	63,1	62,9	62,7	62,4	62,2	62,0	61,7	61,5

(nastavak) Tablica 4.

Dijagonala mm	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,55.	61,3	61,6	60,9	60,6	60,4	60,2	60,0	59,8	59,6	59,3
0,56.	59,1	58,9	58,7	58,5	58,3	58,1	57,9	57,7	57,5	57,3
0,57.	57,1	56,9	56,7	56,5	56,3	56,1	55,9	55,7	55,5	55,3
0,58.	55,1	54,9	54,7	54,6	54,4	54,2	54,0	53,8	53,6	53,5
0,59.	53,5	53,1	52,9	52,7	52,6	52,4	52,2	52,0	51,9	51,7
0,60.	51,5	51,3	51,2	51,0	50,8	50,7	50,5	50,3	50,2	50,0
0,61.	49,8	49,7	49,5	49,3	49,2	49,0	48,9	48,7	48,6	48,4
0,62.	48,2	48,1	47,9	47,8	47,6	47,5	47,3	47,2	47,0	46,9
0,63.	46,7	46,6	46,4	46,3	46,1	46,0	45,8	45,7	45,6	45,4
0,64.	45,3	45,1	45,0	44,9	44,7	44,6	44,4	44,3	44,2	44,0
0,65.	43,9	43,8	43,6	43,5	43,4	43,2	43,1	43,0	42,8	42,7
0,66.	42,6	42,4	42,3	42,2	42,1	41,9	41,8	41,7	41,6	41,4
0,67.	41,3	41,2	41,1	40,9	40,8	40,7	40,6	40,5	40,3	40,2
0,68.	40,1	40,0	39,9	39,8	39,6	39,5	39,4	39,3	39,2	39,1
0,69.	38,9	38,8	38,7	38,6	38,5	38,4	38,3	38,2	38,1	38,0
0,70.	37,8	37,7	37,6	37,5	37,4	37,3	37,2	37,1	37,0	36,9
0,71.	36,8	36,7	36,6	36,5	36,4	36,3	36,2	36,1	36,0	35,9
0,72.	35,8	35,7	35,6	35,5	35,4	35,3	35,2	35,1	35,0	34,9
0,73.	34,8	34,7	34,6	34,5	34,4	34,3	34,2	34,1	34,0	34,0
0,74.	33,9	33,8	33,7	33,6	33,5	33,4	33,3	33,2	33,1	33,1
0,75.	33,0	32,9	32,8	32,7	32,6	32,5	32,4	32,4	32,3	32,2
0,76.	32,1	32,0	31,9	31,9	31,8	31,7	31,6	31,5	31,4	31,4
0,77.	31,3	31,2	31,1	31,0	31,0	30,9	30,8	30,7	30,6	30,6
0,78.	30,5	30,4	30,3	30,2	30,2	30,1	30,0	29,9	29,9	29,8
0,79.	29,7	29,6	29,6	29,5	29,4	29,3	29,3	29,2	29,1	29,0
0,80.	29,0	28,9	28,8	28,8	28,7	28,6	28,5	28,5	28,4	28,3
0,81.	28,3	28,2	28,1	28,1	28,0	27,9	27,8	27,8	27,7	27,6
0,82.	27,6	27,5	27,4	27,4	27,3	27,2	27,2	27,1	27,0	27,0
0,83.	26,9	26,9	26,8	26,7	26,7	26,6	26,5	26,5	26,4	26,3
0,84.	26,3	26,2	26,2	26,1	26,0	26,0	25,9	25,8	25,8	25,7
0,85.	25,7	25,6	25,5	25,5	25,4	25,4	25,3	25,2	25,2	25,1
0,86.	25,1	25,0	25,0	24,9	24,8	24,8	24,7	24,7	24,6	24,6
0,87.	24,5	24,4	24,4	24,3	24,3	24,2	24,2	24,1	24,1	24,0
0,88.	23,9	23,9	23,8	23,8	23,7	23,7	23,6	23,6	23,5	23,5
0,89.	23,4	23,4	23,3	23,3	23,2	23,1	23,1	23,0	23,0	22,9
0,90.	22,9	22,8	22,8	22,7	22,7	22,6	22,6	22,5	22,5	22,4
0,91.	22,4	22,3	22,3	22,2	22,2	22,1	22,1	22,1	22,0	22,0
0,92.	21,9	21,9	21,8	21,8	21,7	21,7	21,6	21,6	21,5	21,5
0,93.	21,4	21,4	21,3	21,3	21,3	21,2	21,2	21,1	21,1	21,0
0,94.	21,0	20,9	20,9	20,9	20,8	20,8	20,7	20,7	20,6	20,6
0,95.	20,5	20,5	20,5	20,4	20,4	20,3	20,3	20,2	20,2	20,2
0,96.	20,1	20,1	20,0	20,0	20,0	19,9	19,9	19,8	19,8	19,7
0,97.	19,7	19,7	19,6	19,6	19,5	19,5	19,5	19,4	19,4	19,3
0,98.	19,3	19,3	19,2	19,2	19,2	19,1	19,1	19,0	19,0	19,0
0,99.	18,9	18,9	18,8	18,8	18,8	18,7	18,7	18,7	18,6	18,6

Usporedba različitih mjera tvrdoće i čvrstoće čelika

Tablica 5.

Tvrdoća					Čvrstoća čelika u kp/mm²		
po Brinellu	po Vickersu	po Rockwellu		po Shoreu	glavni dodatak		
HB	HV	HRb	HRc	HS	C	Cr	Cr—Ni
(780)	1 175		70	106	272	264	256
(745)	1 085		68	100	268	261	253
(712)	1 000		66	95	256	249	242
(682)	930		64	91	246	239	232
(653)	845		62	87	235	229	222
(627)	790		60	84	226	220	213
(601)	735		58	81	216	210	204
(578)	692		57	78	208	202	197
(555)	645		55	75	200	194	188
(534)	608		53	72	192	187	182
(514)	575		52	70	185	180	175
(495)	546		50	67	178	173	168
(477)	520		49	65	172	167	162
(461)	496		47	63	166	161	157
(444)	473		46	61	160	155	151
(429)	454		45	59	155	151	146
(415)	437	115	44	57	149	145	141
(401)	420	114	42	55	144	140	136
388	404	114	41	54	140	136	132
375	389	113	40	52	135	131	128
363	375	113	38	51	131	127	124
352	363	112	37	49	127	122	120
341	350	111	36	48	122	119	116
330	339	111	35	46	119	116	113
321	327	110	34	45	116	112	109
311	316	109	33	44	112	109	106
302	305	108	32	43	109	106	103
293	296	107	31	42	104	102	99
285	287	107	30	40	103	100	97
277	279	106	29	39	100	97	94
269	270	105	28	38	97	94	92
262	263	104	26	37	94	92	89
255	256	103	25	37	92	89	87
248	248	102	24	36	89	87	84
241	241	101	23	35	87	84	82
235	235	100	22	34	85	82	80
229	229	99	21	33	82	80	78
223	223	98	20	32	80	78	76
217	217	97	19	31	78	76	74
212	212	96	18	31	76	74	72

(nastavak) Tablica 5.

Tvrdoća					Čvrstoća čelika u kp/mm²		
po Brinellu	po Vickersu	po Rockwellu		po Shoreu	glavni dodatak		
HB	HV	HRb	HRc	HS	C	Cr	Cr—Ni
207	207	95	17	30	75	73	70
201	201	94	16	30	72	70	68
197	197	93	15	29	71	69	67
192	192	92	14	28	69	67	65
187	187	91		28	67	66	64
183	183	90		27	66	64	62
179	179	89		27	64	63	61
174	174	88		26	63	61	59
170	170	87		26	61	60	58
167	167	86		25	60	58	56
163	163	85		25	59	57	55
159	159	84		24	57	56	54
156	156	83		24	56	55	53
152	152	82		23	55	53	52
149	149	81		23	54	52	51
146	146	80		22	53	51	50
143	143	79		22	52	50	49
140	140	78		21	50	49	48
137	137	77		21	49	48	47
133	133	76		21	48	47	46
131	131	75		20	47	46	45
128	128	74		20	46	45	44
126	126	73			45	44	43
123	123	72			44	43	42
121	121	71			44	42	41
118	118	69			43	41	40
116	116	68			42	41	39
114	114	67			41	40	39
111	111	65			40	39	38
109	109	64			39	38	37
107	107	62			39	38	36
105	105	61			38	37	36
103	103	59			37		
101	101	58			36		
99	99	56			36		
97	97	54			35		
95	95	52			34		
92					33		
89					32		
86					31		

malnu vrijednost skale (100, odn. 130). Time je fiksiran »nulti« položaj, od kojeg ćemo kasnije čitati rezultate. Sad opteretimo penetrator s punim opterećenjem, dok on ne prodre u položaj b. To traje oko 3 do 6 s. Kazaljka se pri tome pokrene i kad se smiri, rasteretimo penetrator za onu silu koju smo **dodali** na predopterećenje pa ostaje opterećen samo predopterećenjem (10 kp). Zbog elastičnosti materijala bit će penetrator, dakako, nešto istisnut iz materijala, tj. doći će u položaj c. Tada kazaljka pokazuje brojku koja označava tvrdoću.

Spomenuti **elastični povrat** je, dakle, izrazita pojava. Nadalje je karakteristično da se rasterećenje i očitavanje rezultata izvode pošto se kazaljka smirila, tj. kad su odnosne deformacije već do kraja izvršene. Vrijeme je, dakle, neke vrste fizikalna konstanta, a ne neka dogovorena veličina kao kod Brinella i Vickersa. Rockwellova metoda je, dakle, brza (10 — 15 s), a prikladna je i za zaobljene plohe. Inače je u svemu istovrijedna s Vickersovom metodom, dakle ispred Brinellove. Mane: gruba podjela skale, osjetljivost u pogledu nehomogenosti.

11.634 Ispitivanje tvrdoće po Shoreu

Metoda po Shoreu zasniva se na srazu, uz svojstvo da je otpor razmjeran **elastičnosti** materijala.

U spravi za takvo mjerenje tvrdoće (zove se skleroskop) puštamo da čelični batić težine 2,36 kp (= 1/12 unce) slobodno pada kroz staklenu cijev s visine 254 mm (= 10 cola), i to na glatku površinu materijala koji se ispituje. Prema visini prvog odskoka određujemo tvrdoću. Shore je taj uređaj odbaždario tako da je visinu odskoka na staklasto tvrdo zakaljenom čeliku (tj. npr. visoko postotni ugljični čelik zakaljen na martensitnu strukturu) označio sa 100 i skalu još produljio (ekstrapolirao) do 140 u istom mjerilu. Odnos između tvrdoće po Shoreu i po Brinellu je linearan sve do tvrdoće HB = 400 kp/mm².

Najveću primjenu nalazi Shoreova metoda kad se želi konstatirati da li je neka površina na širem području jednako tvrda (npr. površina valjaka za hladno valjanje). Mjeri se uvijek na drugom mjestu jer materijal na ispitivanom mjestu ipak otvrdne pa rezultat ne bi bio jednak prvom.

Mjeri se na više mjesta i uzima se sredina. Postupak je pogodan za mjerenje tvrdoće brušenih površina na kojima nakon mjerenja ne smiju ostati nikakvi otisci.

Rezultati, međutim, nisu posve pouzdani jer se temelje na elastičnosti. Na novijim aparatima batić se automatski zadrži u najvišem položaju.

Usporedbu tvrdoće prema Brinellu, Vickersu, Rockwellu i Shoreu vidi u tablici 5.

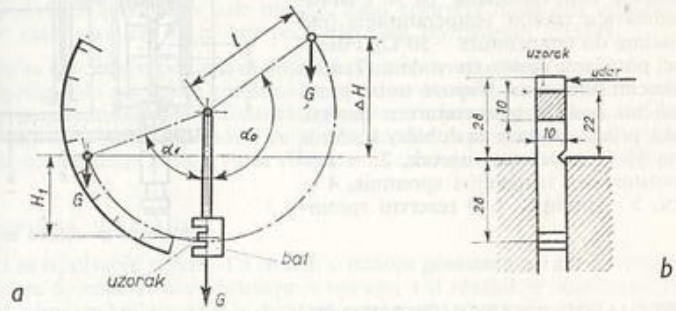
11.64 ISPITIVANJE ŽILAVOSTI (JUS C.A4.004 — 1954)

Ispitivanje žilavosti treba provesti na način koji će najintenzivnije otkrivati **lomljivost** (dakle pomanjkanje žilavosti). Zato se u tu svrhu najčešće primjenjuje savijanje koje zbog nehomogenosti naprezanja proširuje područje lomljivosti. Kao pokusni uzorak uvriježila se četvrtasta šipka, obično zarezana. Sve to olakšava otkrivanje lomljivosti.

11.641 Uređaji za ispitivanje

Ispitivanje se najčešće provodi na CHARPYJEVOJ [Šarpi] **udaralici,** a katkad na ISODOVOJ [Ajzod] ili na SCHNADTOVOJ [Šnat].

Charpyjeva udaralica radi na principu prikazanom u ㉕a,b, dakle **udarno.** Njihajni uteg težine G pusti se s odgovarajuće visine da slobodno izvrši udarac na »epruvetu« (pokusni štap) koja ima standardan oblik i dimenziju (vidi JUS C.A4.004—1954) ㉕b, a smještena je na podlogama u donjem dijelu dvostrukog stalka tako da oštrica utega udara na hrbat, tj. na protivnu stranu od zareza.



㉕ Charpyjev bat i uzorak za ispitivanje udarne žilavosti

Udarom njihajnog bata prelomi se (odnosno bar previne) i izbaci epruveta s podloge, a bat nastavlja svoj njihaj na suprotnu stranu i postiže još stanovitu visinu prije mrtve tačke. Taj podizaj prati se odgovarajućom kazaljkom.

Žilavost je, kako znamo, razmjerna s radnjom potrebnom za ostvarenje prijeloma, koja se može računati iz visine H_1. Da je njihajni bat prošao slobodno, tj. bez sudara s epruvetom, podigao bi se do znatno veće visine H_0, gotovo jednake visine $H_1 + \Delta H$ (nešto manje zbog otpora zraka i trenja u ovjesištu). H_0 nije ucrtana, a određuje se eksperimentalno. Razlika između H_0 i H_1 razmjerna je radnji utrošenoj za prijelom, odnosno za pregib epruvete. Množenjem razlike $(H_0 - H_1)$ s udarnom silom F njihala dobiva se utrošena radnja. U praksi već postoje gotove tablice za određivanje radnje iz očitanih veličina. Kad se ta radnja svede na jedinicu presjeka šipke na zarezanom mjestu, dobiva se **žilavost** u kpcm/cm², odnosno kpm/cm². To bi, međutim, vrijedilo samo za idealno lomljive metale koji bi pukli bez ikakve prethodne plastične deformacije. Radnja se zapravo troši još na postojeću, kakvu-takvu, plastičnu deformaciju, koja obuhvaća stanovitu okolicu zareza. Time je privučen u proces čitav taj volumenski dio epruvete pa bi trebalo i radnju svesti na jedinicu volumena i izraziti je kao kpcm/cm³ ili kpm/cm³. Taj volumen je, dakako, teško odrediti pa bi se ispitivanje kompliciralo a da se ipak ne bi došlo do točne fizičke konstante. Stoga se radnja sračunava samo na površinu presjeka na zarezanom mjestu. Stanovitu netačnost izaziva izvitoperenje oblika tog presjeka u času loma.

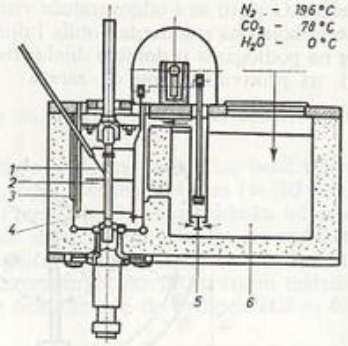
11.642 Utjecaj oblika prijeloma

Kako treba procjenjivati žilavost prema veličini radnje, vidjeli smo u razmatranju o žilavosti metala (poglavlje 11.213.3). Tamo smo vidjeli da se iz oblika prijeloma može zaključivati u koje **područje** pada neki konkretan slučaj ispitivanja, da li u lomljivost ili u žilavost. Iz toga slijedi zaključak da kod onih metala gdje se pojavljuje i lomljivost nije dovoljno utvrditi samo apsolutnu veličinu žilavosti već treba ustanoviti i izgled prijelomne površine, pa se oba ova podatka moraju registrirati. Samo kompleksni zaključci na temelju tih obadviju podataka mogu dati pravu ocjenu žilavosti (tj. otpornosti udarnom opterećenju).

Napokon vrijedi pravilo da se rezultati žilavosti metala smiju uspoređivati samo ako potječu od ispitivanja koja su izvršena pod potpuno **identičnim** vanjskim uvjetima.

11.643 Utjecaj temperature

Temperatura u velikoj mjeri utječe na žilavost. Osobito je zapaženo smanjivanje žilavosti pri niskim temperaturama pa se i ispitivanja podešavaju takvim temperaturama (rad u hladnjacima do temperature −50°C). Posebne uvjete postižemo ledenom vodom, krutim CO_2 i tekućim plinovima. Napose treba paziti na jednoličnu podjelu temperature u uzorku. Shematski prikaz naprave za duboko hlađenje vidimo na ㉘ (1 = pokusni uzorak, 2 = rashladni prostor, 3 = izmjenljivi spremnik, 4 = miješalica, 5 = pumpa, 6 = rezervni spremnik).



㉘ Naprava za duboko hlađenje

11.65 ISPITIVANJE TRAJNE ČVRSTOĆE

11.651 Općenito

Iz nauke o čvrstoći znamo da titrajna naprezanja pri dugotrajnom opetovanju mogu prouzročiti lom i onda kad najveće naprezanje nije premašilo čvrstoću materijala pa čak ni granicu elastičnosti. To se može dogoditi pri to manjem maksimalnom naprezanju što takvo opetovano opterećenje duže traje. Kaže se da materijal pokazuje svojstvo **umornosti** pa postaje zanimljivo koje najviše titrajno naprezanje može materijal izdržati neograničeno dugo. To granično naprezanje zovemo otpornošću prema umoru ili trajnom čvrstoćom.

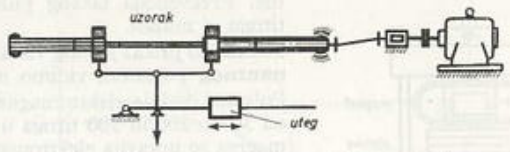
11.652 Uređaji za ispitivanje trajne čvrstoće

Ispitivanje se izvodi tzv. **umaralicama.**

Titrajno opterećenje može biti translatorno, savojno, odrezno i torziono, pa imamo četiri tipa umaralica, tj. s translatornim, savojnim, rotacionim i njihajno-rotacionim djelovanjem. Različitim načinima učvršćenja epruvete može se na svakom tipu tih umaralica materijal opteretiti i različitim opterećenjem, dakle i onim koje nije karakteristično za dotičnu umaralicu. Svi ti uređaji nisu jednako univerzalni. Tako je, na primjer, translatorna umaralica prikladna za sve vrste opterećenja, dok je savojna upotrebljiva samo za savijanje i torziju. Na rotacijskim umaralicama moguće je ispitivati trajnu čvrstoću u pogledu savijanja, torzije i odreza.

11.652.1 Rotacijska umaralica

Okrugla epruveta opterećuje se poprečno, i to **dvostrano,** na oba kraja. Moment je konstantan duž čitave epruvete, a vrti se obično sa 3 000 okr./min, time da se posebnim brojilom registrira ukupan zbroj okreta (prakticira se i s jednostranim upinjanjem epruvete, vidi lit. 1). Rotacijska umaralica prikazana je na ㉙.



㉙ Rotacijska umaralica s dvostranim opterećenjem

Rukovanje je vrlo jednostavno, ali je jednostrano. Najjače je opterećena površina pa se javljaju posljedice eventualno loše obrade. Zato epruveta mora biti vrlo fino obrađena (polirana) kako rezultati ne bi bili pod utjecajem površinskih grešaka.

Budući da se ispitivanju podvrgava čitava dužina epruvete, doći će prije do izražaja neka grublja greška bilo na kojem mjestu. Stoga je to dvostrano opterećenje prikladnije za ispitivanje prethodne obrade. Jednostrano je opterećenje epruvete, naprotiv, mjerodavnije za ispitivanje samog metala, budući da je tada najviše napregnut presjek u upetom kraju, gdje nema neke grublje greške, pa će više doći do izražaja sam utjecaj materijala epruvete.

11.652.2 Savojna umaralica

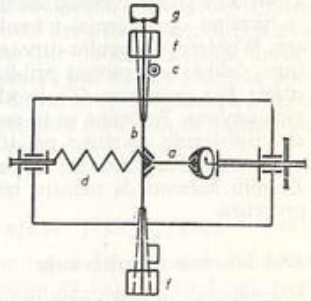
Ona služi za ispitivanje zavara. Tu se radi o trzanju **plosnate** epruvete učvršćene između dviju oštrica. S jedne strane pridržava je opruga, a u sredini je učvršćena između dviju oštrica. Na drugom kraju vezana je dvostrukim ekscentrom turaže 1 600 — 3 000 okr./min, koji može promijeniti amplitudu trzanja, a oprugom i utegom podešava se predopterećenje. Najviše se, dakle, opterećuje srednji presjek, i to savojno. Ako se epruveta upne u prikladne čeljusti, ta je umaralica prikladna i za torzijska ispitivanja.

11.652.3 Translatorna umaralica

Ta je umaralica prikladna za ispitivanje naprezanja i od asimetričnih isprekidanih i od valovitih opterećenja. Prikazana je na ㉚. Titranje epruvete a postiže se titranjem poprečnog čeličnog lista b preko ekscentra c na jednom kraju lista. Na taj način epruveta dobiva aksijalne titraje vlaka i tlaka.

Epruveti možemo dati po volji veliko predopterećenje (napinjanjem opruge d), a dinamometrom e mjerimo veličine i frekvenciju opterećenja. Na krajevima lista b postoje dva utega f, koji djeluju rezonancijom tako da čitav list titra konstantnom frekvencijom prema brzini okretanja ekscentra. Graničnicima g, koji su spojeni električnim kontaktima, može se isključiti motor pri povećanju amplitude titranja.

Naprezanja su jednoliko rasprostrta po čitavom presjeku, što pogoduje ispitivanju materijala u užem smislu. Na toj umaralici mogu se, uz pri-



㉚ Translatorna umaralica

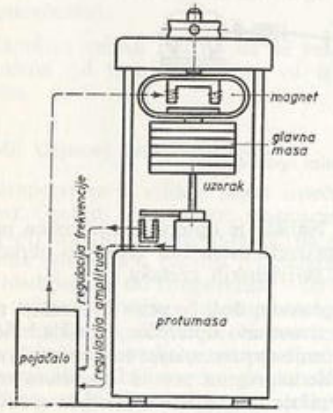
mjenu posebnih čeljusti, ispitati i sve ostale vrste titrajnog opterećenja; ona je, dakle, najuniverzalnija. I ovdje turaža varira od 2 600 do 3 000 okr./min.

11.652.4 Pulzatori

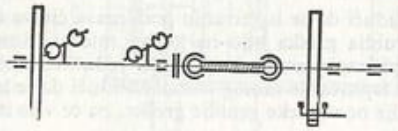
Danas se trajna čvrstoća ispituje na mnogim univerzalnim uređajima za obično statičko ispitivanje. Ovima se nadograđuje poseban **pulzator,** kojim se na statičko predopterećenje superponira još neko titrajno opterećenje. Frekvencija takvog pulzatora siže do 600 titraja u minuti.

Shematski prikaz jednog visokofrekventnog **rezonantnog** pulzatora vidimo na ㉛.

Pulzator djeluje elektromagnetski, s frekvencijom od 50 do 200 ili 300 titraja u sekundi, a elektromagnet se upravlja elektronski. Radi uvijek u rezonanciji, pri variranju opterećenja za ± 5 000 kp. Moguća su i statička predopterećenja. Pri visokoj frekvenciji dobivamo nešto veću izdržljivost. Trajanje ispitivanja se primjenom pulzatora znatno skraćuje.



㉛ Rezonantni pulzator



㉜ Rezonantni torzator

11.652.5 Torzatori

To su uređaji za ispitivanje titrajno-promjenljivih torzijskih naprezanja (shema na ㉜). Rade na principu rezonancije.

Epruveta i dinamometar učvršćeni su u osi između dviju izmjenljivih masa koje rezonantnim titranjem pobuđuju u epruveti i u dinamometru titrajući torzioni moment. Titranje jedne mase izaziva se ekscentričnim uzbudivačem, putem njegova kruženja, a na to rezonira druga masa na drugom kraju sistema. Brzinom kruženja ekscentra dobiju se različite frekvencije titranja, a veličinom izmjenljivih masa postižu se različita naprezanja u epruveti. Veličina amplitude titranja, dakle i naprezanja, mjeri se pomoću dva komparatora na dinamometru.

11.653 Rezultati ispitivanja trajne čvrstoće

Ispitivanje trajne čvrstoće zasniva se na praćenju **naprezanja** (= zbroj: predopterećenje + titrajno opterećenje) i **broja titraja izdržalih do prijeloma.** Oboje se ucrtava u tzv. Wohlerovu krivulju (upoznali smo je u poglavlju 11.211.4). Ona se za mnoge metale (npr. čelike) asimptotski približava nekoj vrijednosti ispod koje uzorak izdržava bezbroj titraja bez prijeloma. To je »dinamička izdržljivost«, tj. trajna čvrstoća, odnosno »granica umora«. Za čelike se to pojavljuje prije 3 – 5 milijuna titraja pa je svakako dovoljno ako ispitivanje završimo pri 10 milijuna titraja. Za obojene metale potreban je znatno viši broj, a neke slitine (npr. ležajne) ne pokazuju opće koljeno nego krivulja siječe apscisu. Za njih kažemo da nemaju trajne čvrstoće pa se samo ispituje nije li im umorljivost prevelika.

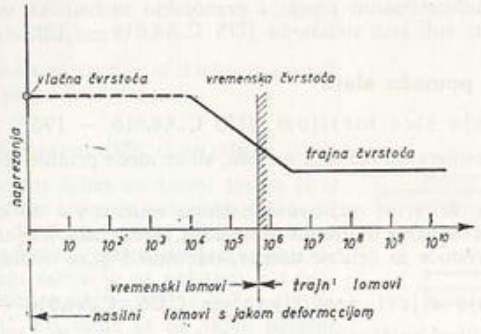
11.654 Ubrzano ispitivanje

Normalno se za svako ispitivanje izvrši 6 – 12 pokusa dok se pronađe granično naprezanje pri kojem epruveta upravo još ne puca. Ako, međutim, Wöhlerovu krivulju pretvorimo

u pravac, bit će dovoljne dvije tačke, tj. dva pokusa. To se postiže ako rezultate prikažemo u dvostrukom logaritamskom mjerilu. Što je nagib dobivenog pravca blaži, to je veća relativna izdržljivost metala.

Na ㉝ vidimo područja vlačne, prekidne, vremenske i trajne čvrstoće u polulogaritamskom dijagramu.

Ispitivanja se mogu izvršiti i na temelju promatranja »prve pukotine«. Vidi o tome Lit. 1.



㉝ Wohlerova linija u logaritamskom mjerilu

11.66 TEHNOLOŠKA ISPITIVANJA

Tehnološka ispitivanja služe prvenstveno za određivanje sposobnosti deformacije materijala. Veličina sile nije važna, traži se izdržavanje deformacije bez prekida ili pukotine. Često je dovoljan vanjski izgled nastale površine ili prijeloma pa se kontrola temelji na iskustvu.

Osim toga, ovamo spadaju ispitivanja sposobnosti za zavarivanje, lijevanje, strojnu obradu i još neka druga.

11.661 Ručna ispitivanja u hladnom stanju

11.661.1 Savijanje

Služi za ispitivanje šipkastog i trakastog materijala i limova. Pri tome se mjeri kut, za koji se uzorak savije oko trna određenog promjera, dok se ne počnu pojavljivati prve pukotine. Limovi se ispituju savijanjem u škripcu. Time se upoznaje lomljivost u hladnu stanju uslijed prisutnosti fosfora. Žilavi se metali uopće ne lome pa je za njih prikladniji pokus **previjanjem** (obično za 180°), koji pokazuje da li je dotični materijal dovoljno sposoban za plastičnu obradu. Mjeri se polumjer savijanja i kut α, kod kojeg se počnu pojavljivati prve pukotine. Za uzorke se uzimaju trake širine 30 do 50 mm, pa i okrugli štapovi i profili, i to u onom stanju u kakvom se upotrebljava materijal, te na rubovima koji su zaobljeni radijusom 0,1 · a (gdje je a debljina uzorka).

Kod limova se uzimaju uzorci.

11.661.2 Ispitivanje limova dvostrukim previjanjem (JUS C.A4.020 – 1962)

Taj pokus se izvodi na limovima i na trakama debljine ispod 3 mm, višekratnim previjanjem uzorka za 90° iz prvobitnog položaja, izmjenično na jednu i na drugu stranu (»amo-tamo«) svaki put preko zaobljenja određenog radijusa. Broje se prevoji do okomitog položaja, sve dok se ne pojave prve pukotine.

11.661.3 Ispitivanje žice izmjeničnim previjanjem

Postupak je sličan ispitivanju limova dvostrukim previjanjem, za 90° u oba smjera, izmjenično preko valjkaste površine određenog zaobljenja. Pojedinosti vidi u standardu JUS C.A4.018 — 1962.

11.661.4 Ispitivanje žice namotavanjem u zavojnicu

Taj pokus može obuhvatiti i **odmotavanje** propisanog broja zavoja. Time se utvrđuju svojstva žice u deformiranom stanju i eventualno mehanička svojstva u odmotanom stanju. Pojedinosti vidi kod standarda JUS C.A4.019 — 1962.

11.662 Ispitivanje pomoću alata

11.662.1 Ispitivanje žice torzijom (JUS C.A4.016 — 1962)

Vrijedi za žice promjera od 0,5 mm na više, ali se može primijeniti i za žice debljine 0,3 do 0,5 mm.

Epruveta se uvija oko svoje osi, uvijek u istom smjeru, sve do loma ili do određenog broja uvijanja, bez savijanja ili drugih naprezanja, osim vlaka, koji smije maksimalno iznositi 2% vlačne čvrstoće za čelične uzorke, odnosno 5% za ostale metale.

11.662.2 Ispitivanje cijevi proširivanjem (JUS. C.A4.010 — 1962)

Vrijedi za čelične cijevi kružnog presjeka, vanjskog promjera do 150 mm i debljine stijenke do 9 mm. Ispitivanje se izvodi utiskivanjem koničnog čepa propisanog oblika. Pojedinosti vidi u standardu.

11.662.3 Ispitivanje cijevi gnječenjem (JUS C.A4.011 — 1956)

Epruveta se u hladnom stanju gnječi pritiskivanjem u smjeru osi i provjerava se da li nastaju pukotine. Pri tome se cijev skraćuje za propisanu vrijednost. Pojedinosti vidi pri standardu.

11.662.4 Ispitivanje čeličnih cijevi spljoštavanjem

Vrijedi za vanjske promjere do 400 mm i debljine do 15% od vanjskog promjera. Kraj (ili poseban komad) cijevi se spljoštava u smjeru okomitom na uzdužnu os uzorka. Kao potpuno spljoštavanje smatra se ono pri kojem nakon završenog ispitivanja dužina dodira unutrašnjih površina epruvete iznosi najmanje polovinu unutrašnje dužine epruvete. Pojedinosti vidi pri standardu JUS C.A4.007.

11.662.5 Ispitivanje čeličnih cijevi porubljivanjem

Primjenjuje se za čelične cijevi do 150 mm vanjskog promjera i debljine stijenke do 9 mm. Pojedinosti u pogledu epruvete i načina ispitivanja vidi u standardu JUS C.A4.009 — 1962.

11.662.6 Ispitivanje tvrdoće turpijom

To je neophodan postupak u kalionicama. Turpijanjem specijalnim turpijama trokutasta oblika, zakaljenim na visoku tvrdoću, određuje se da li je alat odugljičen (u tom slučaju ima tanku kožicu koja se lako skida turpijom).

11.662.7 Ispitivanje limova i traka izvlačenjem

To je modificirana ERICHSENOVA [Eriksen] metoda a primjenjuje se za limove i trake debljine 0,2 do zaključno 2 mm, prema standardu JUS C.A4.021.

Prije ispitivanja površine se epruvete i utiskivača grafitiraju, epruveta se pritegne i dodirne utiskivačem kuglaste glave. Utiskivanje se izvodi brzinom 5—20 mm/min, a kasnije i sporije da bi se pucanje moglo tačno primijetiti. Spomenuti standard preporučuje konkretno mazivo.

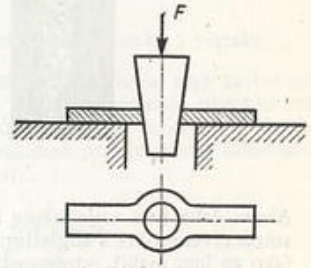
11.663 Ispitivanja u vrućem stanju

11.663.1 Kovačko ispitivanje

Primjenjuje se kod čelika za kovanje. Kao mjera kovkosti služi odnos širine šipke nakon kovanja prema onoj prije kovanja, dok rubovi ne počnu pucati. Uzorak dobrog čelika mora se dati raskovati (bez pucanja) na trostruku širinu. Zato se obično kuje po ugrijanoj šipki, koja ima odnos stranica 1 : 3.

11.663.2 Pokus probijanjem

Konični klin, odnosno trn, utjeruje se u užareni uzorak sve dok uzorak ne počne pucati ㉞.



㉞ Pokus probijanjem

11.663.3 Pokus sabijanjem JUS C.A4.006 — 1954)

Izvodi se zagrijavanjem čelika na crveni žar pa se u tom stanju sabija lakim i čestim udarcima čekića ili na preši dok se ne dobije propisana visina, odnosno dok se na bočnoj površini (plaštu) ne pojave pukotine. U hladnom stanju sabija se na polovicu, a u vrućem stanju na trećinu prvobitne visine (osim ako se drukčije ne ugovori). Pri tome se ne smiju pojaviti pukotine.

11.663.4 Ispitivanje sposobnosti za lijevanje

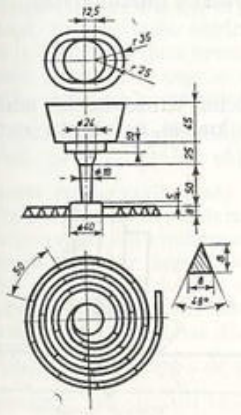
Uglavnom se ispituje žitkost sivog liva lijevanjem u spiralu prema ㉟, obično u ljevaonicama tankostijene robe.

11.663.5 Ispitivanje prokaljivosti čelika

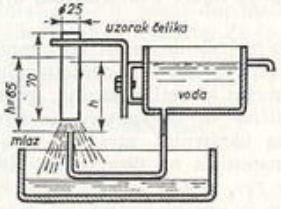
JOMINYJEVIM pokusom čeonog kaljenja čelika može se ocijeniti prokaljivost čelika. Uzima se uzorak promjera 25 mm i dužine 70 mm pa se zagrije na temperaturu kaljenja. Gasi se vodenim mlazom 10 minuta ㊱.

Budući da brzina hlađenja opada s udaljenošću od čeone površine, opada i tvrdoća, to više što je prokaljivost dotičnog čelika manja.

Taj je pokus osobito uspješan pri ispitivanju čelika za poboljšavanje te onih koji se kale u vodi.



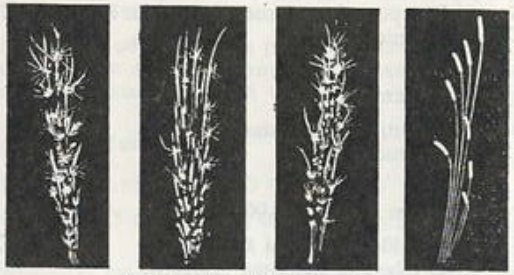
㉟ Ispitivanje žitkosti sivog liva



㊱ Ispitivanje prokaljivosti po Jominyju

11.664 Iskrenje

To je najjednostavniji način određivanja skupine čelika. Čisti ugljični čelik daje žućkaste iskre, koje završavaju kao kijača sa snopastim ograncima iskara ㊲. Što je veći sadržaj ugljika, snop je gušći i bodljike su mnogobrojnije.



㊲ Iskrenje nekih vrsta metala

Alatni čelik ima svijetložute iskre s vrlo razgranatim zvjezdicama. Brzorezni čelik ima smeđecrvene iskre s kuglastim i crvenijim završetkom. Volfram uzrokuje žutocrvene iskre (ako ga ima malo), odnosno tamnocrvene (ako ga ima mnogo). Ipak, nikal i krom se ne mogu raspoznati po iskrama.

11.67 ISPITIVANJE MATERIJALA BEZ RAZARANJA (DEFEKTOSKOPIJA)

Ispitivanje materijala bez razaranja služi, kao istraživanje makrostrukture, prvenstveno za kontrolu poluproizvoda i gotovih dijelova u pogledu **makroskopskih** grešaka, osobito ako se radi o daljnjoj obradi ili puštanju u rad. Tipičan primjer za to je provjeravanje zavarenih spojeva. Redovito se pri tome upozorava na strane uključine (šljaku), plinske mjehuriće, lijevne šupljinice (lunkere), ocjeline, pukotine i zarece, razlike u debljini stijenke te prekide u zavarima.

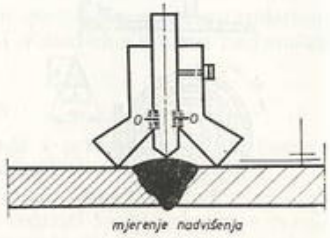
Pri istraživanju **makrostrukture** moguća su i mjerenja napona. Za provođenje takvih ispitivanja postoji veći broj uređaja koji se primjenjuju ovisno o prirodi greške.

11.671 Makroskopska ispitivanja

Glavnu ulogu u tom slučaju ima pregled ravnomjernosti očima te nadvišenja i udubljenja lica zavara, prijelaz s osnovnog materijala na zavar, stanje kratera, površinska poroznost, kontrola površinskih pukotina i kontrola korijena zavara.

Nadvišenja se mjere jednostavnim uređajem prema ㊳.

Normalno nadvišenje iznosi 1 – 2 mm. Lice zavara mora biti bez oštrih poprečnih udubljenja. Početni i završni krateri pokazuju spretnost zavarivača. Obično se izbjegavaju dodatnim limom, osobito na ukrštenim zavarima. Prijelaz od osnovnog materijala na zavar mora biti blag i pravilan, bez tzv. zajeda koji stvaraju koncentraciju napona, pa su opasni napose pri dinamički opterećenim konstrukcijama.



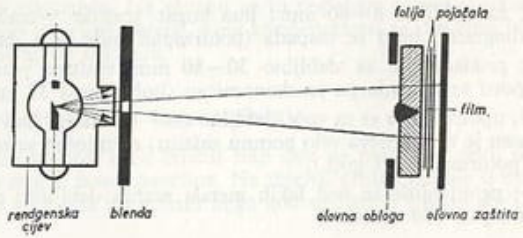
㊳ Mjerenje nadvišenja vara

Poroznost se također zamjećuje okom, a još bolje lupom. Teže su vidljive fine pukotine u površini zavara, koje mogu nastati i pri radu automatima i poluautomatima te prijete produbljivanjem u masu zavara. Čim se primijete takve sitne pukotine, potrebno je što finije obraditi okoliš od 30 do 50 mm i uvjeriti se detaljnije o stanju greške.

Korijen zavara može biti nedovoljno (djelomično) provaren (što znači da je loše provedena penetracija) ili jako provaren. Ima i slučajeva da su smaknuti elementi koji se svaruju, zatim da osnovni materijali nisu dovoljno vezani u korijenu i da se pojavljuju lokalni krateri u korijenu. Ovaj može biti neprovaren uslijed loše pripreme zavara (npr. nepravilno skošenje rubova). Zapažanja svih tih nedostataka čine makroskopsku **ocjenu** zavara, koja se danas nastoji usavršiti kako bi se izbjeglo što više mehaničkih ispitivanja.

11.672 Ispitivanje pomoću radioaktivnih izotopa (Rendgenskih zraka i γ-zraka)

Rendgenske zrake i γ-zrake otkrivaju u ispitivanom uzorku oslabljenja koja zavise od njegove debljine i gustoće. Lokalne greške u zračenom presjeku uzrokuju mjestimične razlike u slabljenju zraka i mogu se registrirati pomoću osjetljivih prijemnika ako je područje greške u pravcu mlaza dovoljno veliko. Fine pukotine primjećuju se samo ako je snop zraka povoljno usmjeren prema ravnini pukotine.



㊴ Ispitivanje rendgenom i γ-zrakama

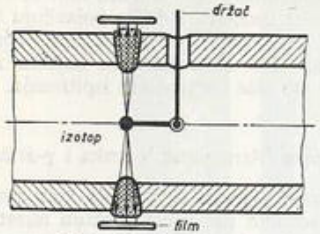
Većina rendgenskih ispitivanja izvodi se snimanjem na filmove osjetljive s obje strane, prema ㊴. Za reduciranje napona u rendgen-cijevi, odnosno za reduciranje trajanja eksponaže upotrebljavaju se posebne folije za pojačanja, premazane slojem kalcijeva volframata, koje povisuju oštricu slike. One se mogu prilagoditi prema debljini materijala. Zato je film osvijetljen prvenstveno svjetlom folije, koje ima veću duljinu vala od rendgenskih zraka (zbog toga se moraju upotrijebiti specijalni filmovi). To ima za posljedicu da slika gubi na kontrastima.

Pod djelovanjem rendgenskih zraka svaki materijal odašilje svoje zrake. To stvara zastor na slici, pa se on obično uklanja specijalnim filtrima između filma i uzorka.

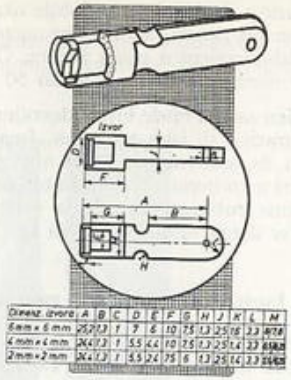
Umjesto rendgenskih zraka mogu se primijeniti i kratkovalne γ-zrake, koje emitiraju umjetni **radio-aktivni elementi** (izotopi). Prednost im je u izvanredno malim dimenzijama preparata i u visokom intenzitetu koji probija i deblje predmete. Za to je potrebno duže eksponiranje nego kod rendgenskih aparata srednje veličine. Kod tanjih presjeka greške se u materijalu teže očitavaju. Budući da pohranjivanje i transport radioaktivnih preparata ne zahtijevaju neke veće naprave, ispitivanja su moguća i na nepristupačnim mjestima, npr. u cijevima ㊵. Provrt se, dakako, nakon ispitivanja zatvori.

Ta ispitivanja obavljaju se obvezatno pod zaštitom od zračenja.

Industrijski radioaktivni izotopi proizvode se u šipkama 2 × 2, 4 × 4 i 6 × 6 ili kao kocke, odnosno kao cilindri tih dimenzija. Na poseban zahtjev dobiju se i dimenzije 1 × 1 mm. Stavljaju se u posebne drške (nosače) ㊶.



40 Ispitivanje izotopom



Dimenz. izvora	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
8 mm × 8 mm	25	7,3	1	7	6	10	7,5	1,3	2,5	0,8	3,3	4,78
4 mm × 4 mm	24	4,3	1	5,5	4,4	10	2,5	1,3	2,5	1,4	3,3	4,98
2 mm × 2 mm	24	4,3	1	5,5	2,4	7,5	6	1,3	2,5	1,4	3,3	5,42

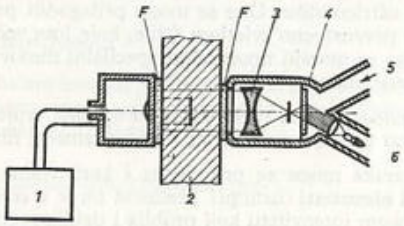
41 Pohranjivanje izotopa

Najčešće se primjenjuju ovi radiaktivni izotopi:

- **iridij** (Ir^{192}), za debljine 8—60 mm; ima bogat spektar γ-zračenja pa se dobiju kontrastni radiogrami, brzo se raspada (poluraspad traje 74,4 dana);
- **cezij** (Cs^{137}); prikladan je za debljine 30—80 mm, emitira γ-zrake, uz popratno β-zračenje; sporo se raspada pa je ekonomičan (poluraspad 33 godine);
- **kobalt** (Co^{60}); upotrebljava se za veće debljine (30—450 mm), ima vrlo jaku energiju zračenja i opasan je te zahtijeva vrlo pomnu zaštitu; razmjerno se sporo raspada pa je ekonomičan (poluraspad 5,3 god.);
- **tulij** (Tm^{170}); primjenjuje se kod lakih metala raznih debljina; razmjerno se brzo raspada (poluraspad 129 dana).

11.673 Ispitivanje ultrazvukom

Pod ultrazvukom razumijevamo mehanička titranja s frekvencijom višom od one što je možemo čuti uhom (tj. preko 10^6 herca). Ti se valovi šire pravocrtno natrag (»reflektiraju«). Na modernijim aparatima to se registrira pomoću uređaja prema 42.



42 Ispitivanje ultrazvukom

Ultrazvuk proizvode generatori, pretvarajući mehaničku (rječe), odnosno elektronsku (češće) energiju u ultrazvučne vibracije. Za to su potrebni posebni »piezo-električni« materijali (kvarc, amonijev hidrogen, litijev fosfat, polarizirani barijev titanit itd.).

Generator 1 proizvodi ultrazvuk, koji prolazi kroz predmet 2 i pomoću akustične leće 3 usmjeri se u komoru 4, gdje se pretvara u sliku. Kroz kanal 5 promatra se slika, osvijetljena izvorom svjetla 6, pa se mogu razlikovati čestice pod ultrazvukom od onih koje nisu pod

tim utjecajem. Neozvučena mjesta izgledaju tamna jer ona neznatno odbijaju svjetlo (ili nikako). To se temelji na fizikalnoj pojavi što se ultrazvučna zraka na prolazu kroz ispitivani komad odbija kad naiđe na graničnu površinu između dva medija različitih akustičnih otpora. Ako je materijal homogen, doći će do odbijanja (refleksije), ali tek onda kad ultrazvučna zraka naiđe na suprotnu površinu komada (granica s atmosferskim zrakom). Na promatračkom ekranu tada će se registrirati debljina materijala. Ako, naprotiv, u materijalu postoji neki uključak, tj. tijelo nekog drugog akustičnog otpora, doći će do refleksije na tom mjestu i to će se očitati na skali ekrana. Područje ispitivanja je 1 cm do 10 m.

Prije rada ultrazvukom treba površinu materijala na prikladan način obraditi, osobito ako se traži ne samo konstatacija greške već i njezina analiza. Dakako,i uz najprecizniju obradu površine dolazi do stanovitog zračnog sloja između ultrazvučne »glave« i ispitivanog komada. Taj zrak, posve različitog akustičnog otpora od svih metala, privlači na tu graničnu površinu praktički svu ultrazvučnu energiju. Da bi se osigurao akustični kontakt, nanosi se na površinu komada tekući premaz, koji uklanja i najmanji zračni sloj između predmeta i kvarcne glave. Kvarcna pločica može se postaviti tako da odašilje longitudinalne i (pri drugom smještaju) transverzalne valove.

Ultrazvuk je napose podesan za reviziju objekata koji nisu posve pristupačni (tj. sa svih strana). Tada se primjenjuje metoda »jeke« s priključenim kondenzatorom promjenljivog kapaciteta. To omogućava promjenu frekvencije, dakle dovođenje aparature u rezonanciju s debljinom materijala. Na ekranu se to registrira mnogostrukim jekama, koje pokrivaju maksimum površine ekrana, a na kondenzatoru se direktno može očitati debljina stijenke, s tačnošću od 0,1 mm.

11.674 Magnetska ispitivanja (magnetofluks)

Magnetske silnice prolaze kroz čelični štap dok ne naiđu na neku nehomogenost (npr. mjehur), koja ih istjera izvan površine. Na mjestu greške nastaje u materijalu magnetsko osipanje, koje je veće kod poprečnih nego kod uzdužnih pukotina. To se očituje na nekoliko načina:

- Pomoću svitka za ispitivanje, spojenog s galvanometrom. Tamo gdje silnice izlaze napolje, namotaji će rezati silnice, pa će se pojaviti otklon na galvanometru. Tako se, na primjer, ispituju pukotine u čeličnoj užadi, cijevima i sličnim (po mogućnosti glatkim) predmetima. Može se upotrijebiti i za ispitivanje varova.
- Uronjavanjem u kupku ulja pomiješanog s prašinom željeza, uz istodobno magnetiziranje ispitivanog uzorka. Željezna prašina (iz ulja) jače se skuplja na mjestima gdje se nalaze greške.
- Posipavanjem uzorka mješavinom ulja i željezne prašine, uz istodobno magnetiziranje pokusnog uzorka. Ako se štap magnetizira **istosmjernom** strujom, silnice se jednoliko rasporede po presjeku (dubinsko djelovanje magnetiziranja) pa se mogu odrediti i greške u dubini. Pri magnetiziranju **izmjeničnom** strujom silnice se nalaze više na površini pa je takav postupak prikladniji za ispitivanje površinskih grešaka (npr. pri kaljenju).

Nakon takvog ispitivanja mora se predmet razmagnetizirati (npr. pomoću strojeva »demagnetizatora« — vidi literaturu).

11.675 Ispitivanje materijala luminiscencijom

11.675.1 Pojam

Poznato je da molekule tvari mogu upijati svjetlo i emitirati ga. Svaka molekula upija (i opet ispušta) po 1 »foton«. S druge strane, svaka molekula posjeduje određenu energiju.

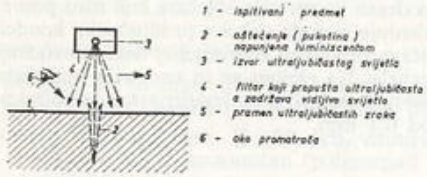
Pojavi li se neki višak energije, tj. iznad neke normalne količine, molekula dolazi u uzbuđeno stanje. Ona se, dakle, uzbuđuje samim dovođenjem neke energije. Također može molekula upiti više svjetla, pa ga više i ispušta, tj. **luminiscira** (svjetluca). To je, dakako, svojstveno samo nekim tvarima; organski spojevi određenog sastava i strukture luminisciraju, drugi ne.

U praksi se primjenjuje tzv. **fluorescencija** (ona, pošto svrši uzbuđenje, naglo izbija, tj. opada) i **fosforescencija** (koja se produžava čak i nekoliko sati a da se posebno ne iscrpljuje).

Tvari koje svjetlucaju nazivamo **luminiscentima** (lumen = svjetlo).

11.675.2 Princip rada

Na ispitani predmet nanosi se luminiscent, koji prodire u šupljinice i ostaje u njima (višak se uklanja). Do uzbuđenja dolazi djelovanjem svjetla (za oko nevidljivog) pa luluminiscent u šupljinici počne »uzvraćati«, a oštećenja postaju time vidljiva ⑬.



⑬ Ispitivanje luminiscencijom

Osjetljivost te metode zavisi od tvari — luminiscenta, zatim od debljine njegova sloja, sposobnosti promicanja u najtanje šupljinice i pukotine te vrste i snage izvora uzbuđenja luminiscenta. Što je luminiscencija intenzivnija, to jasnije se očituju oštećenja (defekti).

11.675.3 Luminiscenti

Za defektoskopiju su interesantne samo one svjetlucajuće tvari koje sjaju dovoljno intenzivno prilikom uzbuđenja pa se u mraku mogu primijetiti. Posebna su pomagala tzv. **aktivatori** (isključivo metali), koji pojačavaju intenzitet svjetlucanja.

Pregled krutih i tekućih luminiscenata vidimo u tablici 6. Najbolje prodire petrolej, ali ne luminiscira dovoljno. Razrijeđen uljem daje dobre rezultate, pa i defektol, posebna zelenozlatna tekućina, koja daje jako svjetlucanje. Ipak, najjače svjetlucanje izaziva noriol, tekućina kombinirana od nekih vrsta nafte i očišćena od primjesa (inhibitora) koje zamućuju (gase) svjetlucanje.

Što se tiče **uzbuđivača,** treba reći da se svjetlucanje može uzbuditi radijacijom rendgenskih zraka, γ-zraka i ultraljubičastih zraka, pa i vidljivog svjetla te nabijenih α-čestica i β-čestica. Najšire se primjenjuju ultraljubičaste zrake, koje se dobiju od živinokvarcnih svjetiljki.

11.676 Ispitivanje metalne površine

Hrapavost površine jedna je od bitnih karakteristika proizvoda, napose ako se radi o tarnim plohama. Zato se ona propisuje prema određenim pravilima, odnosno demonstriranjem uzoraka, uz naznaku odgovarajućih standarda koji određuju odgovarajuću kategorizaciju, načine mjerenja itd.

Luminiscenti Tablica 6.

KRUTI LUMINISCENTI			TEKUĆI LUMINISCENTI	
Glavna tvar	Aktivator	Boja svjetlucanja	Tvar	Boja svjetlucanja
CaS	Mn	narančasta	destilirana voda	—
CaS	Mn	zelena		
CaS	Ni	crvena		
CaS	Ni	plavomodra	petrolej	plava
ZnS	Mn	zelenožuta		
ZnS	Cu	plavozelena	mineralna ulja	plava
ZnS	Ag	ljubičasta		
ZnS	Bi	plavozelena	25%-tna smjesa ulja za avijaciju s petrolejem podgrijana od 50—90°C u omjeru 1 : 2	plava
ZnS	Čisti	plava		
ZnS	Ag	modra		
ZnS	Cu	zelena		
ZnS	Mn	narančasta		
(Zn+Cd)S	Ag	sve boje od plave do crvene pri povećanju koncentracije	transformatorsko ulje ili velosit s petrolejem u omjeru 1 : 2 ili 1 : 3 s dodatkom do 5% antracenskog ulja	svijetloplava
(Zn+Cd)S′	Cu	sve boje od modre do crvene		
Zn_2SiO_4	Mn	zelena	defektol P s koncentracijom 0,1% u antracenskom ulju	ružičasta
$CdSiO_3$	Mn	ružičastožuta		
$(ZnBe)SiO_4$	Mn	žutobijela		
$CaWO_4$	(Pb)	modra		
$CaWO_4$	—	bjelkastoplava	defektol zelenozlataste boje pri koncentraciji 0,025 —0,3% (prethodno se rastvara u bezinu ili benzolu); 1,6 dijelova za svu masu defektola	—
$MgWO_4$	—	bjelkastoplava		
$CdBrO_4$	Mn	ružičasta		
$ZnBrO_4$	Mn	crvena ili zelena		
$MgSiO_4$	Mn	crvena		
$CdZn(PO_4)$	Mn	crvena	noriol	intenzivna žutozelena
Zn(SSe)	—	bijela		

11.676.1 Ispitivanje premazima

Premazivanjem površine metalnog proizvoda bojom ili sl. i naknadnim brisanjem postaju vidljive razne pore, ogrebotine i udubljenja. Polaganjem određenog — posve glatkog — uzorka, premazanog bojom, zamjećuju se i tragovi stvarnog nalijeganja površina te udio nošenja dotične površine. Ovaj zavisi i od pritiska, a izražava se u postocima ispunjenosti ispitivane plohe bojom. U praksi je taj postotak između 30 i 80%.

11.676.2 Nagrizanje kiselinom

Ako se radi o uklanjanju površinskog sloja koji se ne može procijeniti prostim okom, ni uz pomoć boja, primjenjuje se nagrizanje kiselinama (npr. dekapiranje limova). Tako se skidaju oksidni slojevi, okujina, lističavost površine itd., a neke od mana postaju očitije (mjehurići, ožiljci, pukotine itd.). Na taj način se dobiva kriterij za odbacivanje limova namijenjenih za duboko izvlačenje jer su te operacije vrlo osjetljive na površinske greške. Najnoviji standardi za područje hrapavosti (JUS M.M1.020/026) predviđaju komparativne talone (»Supraphon« i dr.), kakvih već ima na tržištu.

11.676.3 Metoda uljne kapljice

Jedan od starijih načina za utvrđivanje hrapavosti temelji se na upotrebi uljnih kapljica. Na ravnu pločicu lima, nagnutu pod kutom od 45°, padne uljna kap određene veličine s visine od 5 cm. Zatim se promatra njezino kretanje niz kosinu, i u smjeru i poprečno na smjer valjanja pa se mjerenjem brzine procjenjuje stupanj glatkoće površine u oba smjera.

11.676.4 Ispitivanje kompaktnosti nanosa

Metalne prevlake (npr. pocinčavanje, kromiranje, pokositravanje itd.) ne prianjaju uvijek besprijekorno, pa dolazi u pitanje kvaliteta nanosa (npr. pri pokositravanju čeličnih dijelova za prehrambenu industriju vrućim postupkom, tj. uronjavanjem). Uslijed neispravnosti u načinu rada ostaju stanovita mjesta diskontinuiteta koja su okom često nevidljiva. Otkrivaju se premazima koji djeluju na specijalno preparirani papir, na kome ostaju pojačane mrlje kao tačke diskontinuiteta, u izrazito kontrastnim bojama. To upućuje na potrebu da se postupak ponovi.

ULOVEC Oto, diplomirani inženjer kemije

SINTROVANI MATERIJALI

12.1 UVOD 304
12.2 SVOJSTVA I PROIZVODNJA PRAHA 305
12.3 ZGUŠĆIVANJE PRAHA 306
12.4 SINTROVANJE 306
12.5 PRIMJENA SINTROVANIH MATERIJALA 307

Literatura:

Kieffer, R., und *Hotop, W.*: Pulvermetallurgie und Sinterwerkstoffe, 2. Aufl. Springer—Verlag, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1948.

Goetzel, C. G.: Treatise on Powder Metallurgy, Volume I—III, New York, Interscience Publishers 1949—1952.

Fedorčenko I. M., Andrijevskij R. A.: Osnovy poroškovoj metallurgii, izd. AN USSR, Kijev 1961.

12.1 UVOD

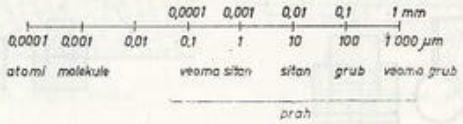
Grana metalurgije koja se bavi proizvodnjom oblikovanih tijela iz praha kovina, slitina ili kovinskih spojeva upotrebom pritiska (prešanjem) i topline (sintrovanjem) naziva se metalurgija praha. Tijela oblikovana tim postupkom zovemo još i sintrovani materijali. Metalurgija praha je razmjerno nova nauka. Njena pojava u industrijskim okvirima počinje proizvodnjom i preradom volframa u niti za električne žarulje. Slijedi proizvodnja ostalih kovina s visokim talištem, neophodnih u elektrotehnici. Njeni postupci služe i za proizvodnju reznih materijala poznatih pod nazivom tvrdi metali. Istom prije 25 godina počela je proizvodnja raznih malih strojnih dijelova, ležaja, filtara, magneta i kontaktnih materijala. U najnovije vrijeme primjena se proširuje na proizvodnju vatrostalnih materijala, potrebnih pri izradi plinskih turbina, atomskih reaktora, raketa i svemirskih letjelica. Povijesni razvoj metalurgije praha prikazan je u tablici 1.

Povijesni razvoj metalurgije praha Tablica 1.

1827. Sobolevskij	kovao je platinske rublje postupkom metalurgije praha
1829. Wollaston	razradio je postupak proizvodnje sintrovane platine i drugih kovina platinske skupine
1855. Townsend	proizveo je zubna punila iz kovinskih amalgama,
1870. Gwynn	patentirao je u SAD samopodmazive ležaje iz kositrene strugotine i petrol-koksa
1897. Welsbach	proizveo je niti za žarulje iz osmija
1902. Bolton	načinio je niti za žarulje iz tantala
1904. Hannamann i Just	proizveli su niti za žarulje iz volframa
1908. Gilson	predložio je upotrebu slitine bakar-grafit za četkice na elektro-motorima
1909. Löwendhal	proizveo je kovinski filtar i porozni ležaj
1910–1920. Schwarzkopf	proizveo je električne kontakte iz slitine volfram-bakar, volfram-srebro i druge
1914–1917. Voigtländer i Lohmann	proizveli su sintrovane kovinske karbide bez vezivne kovine
1922. Schröter	patentirao je postupak proizvodnje tvrdog metala iz volframova karbida i kobalta
1929–1935. Schwarzkopf, Kieffer i dr.	razradili su postupak proizvodnje tvrdog metala za obradu čelika upotrebom miješanih karbida
1930. tvornica Widia	uvela je proizvodnju tvrdog metala za obradu čelika na bazi WC–TiC–Co
1934–1938. Korživa	uveo je proizvodnju željezno-grafitnih ležaja
1934–1941. Howe, Kieffer, Hotop i dr.	proizveli su sintrovane magnete
1935–1941.	proizvedeni su strojni dijelovi iz željeza i čelika te porozni ležaji iz željeza
1940.	uvedena je proizvodnja elektroda za varenje, koje su obložene željeznim prahom
1950. tvornica Phillips	uvela je proizvodnju oksidnih magnetnih materijala, zvanih feriti
1952–1954.	pojavljuju se kovinski trajni magneti na bazi veoma sitnog željeznog praha i slitine Mn-Bi
1955. do danas	uvodi se proizvodnja vatrostalnih materijala za plinske turbine, atomske reaktore, rakete, svemirske letjelice itd.

12.2 SVOJSTVA I PROIZVODNJA PRAHA

Kao glavna sirovina u metalurgiji praha upotrebljava se prah različitog sastava, čistoće, oblika i veličine čestica. Prema kemijskom sastavu to je prah od kovina, slitina, kovinskih spojeva, a nekad i nekovina. Čistoća se izražava u postocima. Na primjer, čistoća 99% znači da postoji oko 1% neželjenih primjesa. Veoma čist prah ima čistoću 99,9% pa i više. Već prema načinu proizvodnje, prah može biti raznolikog oblika, na primjer u obliku kuglica, pahuljica, ljuskica i iglica. Može imati nepravilan oblik oštrih bridova ili je zaobljen. Pojedine čestice često čine kompaktne ili spužvaste nakupine. Po veličini razlikujemo veoma grub, grub, sitan i veoma sitan prah. Podjela je grafički prikazana na ①.



① Podjela praha po veličini čestice

Za prosuđivanje kvalitete praha potrebno je poznavati stupanj do koje je mjere prah oksidiran utjecajem kisika iz zraka. To vrijedi napose za veoma sitan prah. On se stoga pohranjuje u vakuumu ili u zaštitnoj atmosferi. U dodiru sa zrakom uslijed oksidacije počne se zagrijavati i to obično dovodi do samozapaljenja, odnosno do potpunog izgaranja (prelazi u oksid). Oksidirani prah nepovoljno utječe na sposobnost zgušćivanja i sintrovanja. Prah se može proizvesti fizikalnim, fizikalno-kemijskim, kemijskim ili elektrokemijskim postupkom (tablica 2).

Pregled proizvodnih postupaka za dobivanje praha Tablica 2.

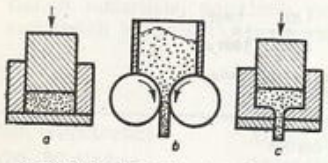
Proizvodni postupak		Prikladan za	Primjedba
Fizikalni	mljevenjem	slitine željeza, karbide, aluminij i broncu	Malo se upotrebljava.
	raspršivanjem	željezo i kovine ili slitine niskog tališta	Upotrebljava se vrlo često.
Fizikalno-kemijski	raspršivanjem uz oksidaciju	mekano željezo veoma podatno za prešanje	Pri raspršivanju oksidira, a zatim se žari i reducira.
	ukapljivanjem para	cink i kadmij	Veoma je vrstan i jeftin.
Kemijski	redukcijom	željezo i kovine visokog tališta	Veoma je raširen postupak.
	kemijskim spajanjem	karbide, nitride, boride i silicide	Neophodan je za dobivanje kovinskih spojeva.
	kemijskim cijepanjem karbonila	željezo i nikal	Veoma je vrstan, ali skup.
Elektrokemijski	elektrolizom vodenih otopina	bakar, željezo, krom i srebro	Veoma je skup.
	elektrolizom rastaljenih soli	torij, niob, tantal i cirkonij	Veoma je skup.

12.3 ZGUŠĆIVANJE PRAHA

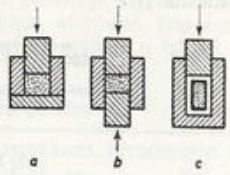
U osnovi razlikujemo zgušćivanje praha prešanjem, valjanjem i istiskivanjem ②. Za proizvodnju sintrovanih materijala uglavnom se primjenjuje prešanje.

Izvodi se tako da se prah sipa u otvor prešnog alata, a zatim se pomoću žiga tlači do određenog tlaka. Prema vrsti praha tlak se kreće od 0,1 do 15 t/cm².

Prema smjeru tlaka koji djeluje razlikujemo jednostrano ③ a, obostrano ③ b i svestrano ③ c prešanje.



② Zgušćivanje praha a) prešanjem, b) valjanjem i c) istiskivanjem



③ Prešanje a) jednostrano, b) obostrano i c) svestrano

Pri jednostranom prešanju zgušćivanje nije ravnomjerno. Najgušći je gornji dio otpreska. Tim postupkom nije dobro prešati tijela čija je visina veća od njihova promjera. Pri obostranom prešanju zgušćivanje je ravnomjernije. Ono se primjenjuje pri prešanju tijela kojima je visina do dva puta veća od njihova promjera. Danas se gotovo isključivo primjenjuje obostrano prešanje. Idealno zgušćivanje nastaje pri svestranom prešanju. Zbog toga se taj način prešanja ponekad naziva i hidrostatskim prešanjem. Izvodi se tako da se prah sipa u podatan omot (iz gume, plastike, voska i slično). Sve je opkoljeno tekućinom (vodom ili uljem). Na taj način otprešano tijelo može imati neograničenu visinu. Upotrebljava se samo u onim slučajevima kad se prethodnim postupcima ne može dobiti dobar otpresak. Postupak nije ekonomičan, a osim toga daje hrapav i po dimenzijama netočan otpresak.

Za proizvodnju sintrovanih materijala konstruirane su posebne preše, koje prema načinu izvođenja tlaka mogu biti mehaničke ili hidrauličke. Mehaničke su one za tlakove do 30 tona, a hidrauličke za one veće. Broj otpresaka kod mehaničkih preša kreće se do 3 000 na sat. Kod hidrauličnih je znatno manji i ne prelazi 1 000 otpresaka na sat.

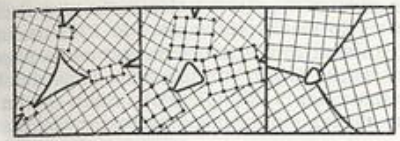
Prešni alati izrađuju se od odgovarajućeg alatnog čelika. Jedan takav alat može izdržati 500 do 500 000 otpresaka, a to ovisi o tvrdoći praha i veličini upotrijebljenog tlaka. Za milijunske serije, ili pri prešanju veoma tvrdog praha prešni se alati oblažu uloškima od tvrdog metala.

Pri konstrukciji sintrovanog tijela mora se voditi briga o tehnici prešanja. Stoga je prije konstrukcije potrebna konzultacija s proizvođačem sintrovanih materijala.

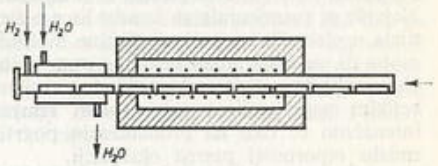
12.4 SINTROVANJE

Prah, zgusnut tlačenjem (prilikom prešanja) u kompaktno tijelo, dalje se zgušćuje toplinskom obradom koju nazivamo sintrovanje. Prilikom sintrovanja konačno se formiraju fizikalne osobine, kao što su čvrstoća, tvrdoća, gustoća itd. S obzirom na teoriju sintrovanja dobivene slitine možemo podijeliti na dvije skupine. Prvu bi činile one slitine koje se sintruju bez tekuće faze, a drugu one koje se sintruju u prisutnosti te faze. U prvu skupinu ubrajamo, na primjer, volfram, molibden, tantal, titan i čiste kovine željezne skupine, u drugu pak tvrdi metal, porozne ležaje, velik dio slitina za električne kontakte.

Procesi sintrovanja u oba slučaja u biti su različiti. U prvom slučaju se prah zgusnut tlačenjem (prešanjem) sintruje na način kako je prikazano na ④. Rastom temperature dodirna mjesta se povećavaju u širinu i u dubinu prevrstavanjem pojedinih atoma praha. Nastaje rekristalizacija. Pore se zaobljuju i smanjuju. Prema vani to se očituje stezanjem sintrovanog tijela (smanjuje se obujam). Sintruje se uvijek na temperaturi nižoj nego što je talište kovine. Često se, da bi se poboljšalo sintrovanje, dodaju male količine nekih drugih kovina.



④ Sintrovanje triju čestica praha



⑤ Električna prolazna peć

Za sintrovanje se obično upotrebljavaju električne prolazne peći ⑤ s redukcionom atmosferom, na primjer vodikom. Otpresci složeni u ladice na jednoj stani umeću se u peć, prolaze kroz nju i vade se na drugoj strani peći kao sintrovani. Pri izlazu iz peći nalazi se komora za hlađenje. Zaštitna atmosfera u pećima za sintrovanje sprečava oksidaciju. Najviše se primjenjuje redukcijska atmosfera (vodik, krekirani amonijak i slično), a izuzetno neutralna atmosfera (dušik, argon itd.). U najnovije vrijeme sintrovanje se obavlja u vakuumu. Tako sintrovani materijali po pravilu imaju bolja svojstva od onih sintrovanih u zaštitnoj ili u neutralnoj atmosferi.

12.5 PRIMJENA SINTROVANIH MATERIJALA

12.501 Kovine s visokim talištem

Upravo su te kovine prvi proizvodi metalurgije praha. Visoko talište (obično iznad 2 000°C) nije omogućavalo njihovu proizvodnju putem taljenja. Postupci metalurgije praha zbog relativno niskih temperatura obrade pogodovali su njihovu dobivanju. Fizikalna svojstva kovina s visokim talištem prikazana su u tablici 3.

Fizikalna svojstva kovina s visokim talištem Tablica 3.

Kovina	Gustoća g/cm³	Talište °C	Čvrstoća na vlak kp/mm²	Istezanje %	Modul elastičnosti kp/mm²	Specifičan otpor 10^{-6} Ω·cm
Titan	4,5	1 727	57 do 88	28 do 4	11 800	56,0
Cirkonij	6,5	1 860	56 do 77	28 do 8	7 700	48,0
Hafnij	13,3	2 230	—	—	14 100	30,0
Vanadij	6,1	1 720	57 do 109	7 do 1	15 500	24,8
Niob	8,6	2 500	35 do 70	30 do 1	—	13,0
Tantal	16,6	3 030	90 do 120	10 do 2	18 800	15,5
Krom	7,0	1 920	—	—	19 800	19,0
Molibden	10,2	2 620	80 do 200	30 do 5	33 600	5,0
Volfram	19,3	3 380	140 do 400	2 do 0	41 500	5,5

Karakteristično je za te kovine da naginju spajanju s plinovima. Pri višim temperaturama nisu postojane na zraku.

Volfram. Najviše se upotrebljava za izradu niti za električne žarulje i za elektrode za varenje. Od kovanih šipki izrađuju se kontakti prikladni za uključivanje ili isključivanje manjih struja uz viši napon (telefonski i telegrafski releji). Nadalje se volfram upotrebljava u proizvodnji radio-cijevi, antikatoda u rendgenskim cijevima i grijaćih tijela za električne peći.

Molibden. Odlikuje se dobrim mehaničkim svojstvima i pri višim temperaturama. Na zraku jako oksidira pa mu je primjena vezana uz vakuum ili uz zaštitnu atmosferu. Najviše se primjenjuje za izradu lima i žice za elektronske cijevi i elemenata za grijaća tijela u električnim pećima. Slitine molibdena s vrlo malim sadržajem (do 1%) titana, nioba ili vanadija imaju nekoliko puta veću čvrstoću pri povišenim temperaturama nego čisti molibden. To je vrlo prikladno svojstvo za izradu raznih strojnih dijelova izloženih velikim naprezanjima pri visokim temperaturama (do 1 000°C). Posljednjih godina intenzivno se radi na pronalaženju površinske zaštite molibdena i njegovih slitina u smislu otpornosti prema oksidaciji.

Tantal. Veoma je otporan na kiseline i druge kemikalije. Služi za izradu posuda, grijača i hladila u kemijskoj industriji. U elektrotehnici idealan je materijal za neke dijelove elektronskih predajnih i rendgenskih cijevi. Slitine tantala služe za izradu mlaznica raketnih motora.

Niob. Ima slična svojstva kao i tantal.

12.502 Strojni dijelovi

Dijelovi od željeza i od čelika. Sintrovani materijali s tog područja najmasovniji su proizvodi metalurgije praha. Uglavnom se radi o raznim malim strojnim dijelovima (polugama, zupčanicima, spojkama, ozubljenim kotačićima itd.). Kad razmišljamo o mogućnosti upotrebe strojnog dijela proizvedenog postupcima metalurgije praha, moramo imati na umu mnogo faktora. Kao što je spomenuto u poglavlju 12.3, već pri konstrukciji moramo uzeti u obzir mogućnost prešanja. Nadalje su važni zahtjevi s obzirom na čvrstoću i istezanje. Mogućnosti u postizanju tih veličina ograničene su, tj. manje su nego kod običnih čelika. Radi li se o manjim količinama, proizvodnja nije ekonomična. Računa se da su optimalne serije one iznad 10 000 komada, no to uglavnom ovisi o cijeni prešnog alata. I u pogledu težine strojnog dijela postoje ograničenja. Područje se kreće od 1 do 500 g. Prosječna je težina između 40 i 50 g, a dijelovi iznad 150 g izrađuju se samo izuzetno. Tolerancije dimenzija su u granicama $\pm 0{,}2$ mm. Zahtijeva li se veća točnost, nužno je kalibriranje. U tom se slučaju postiže točnost čak u tisućinkama. To, naravno, poskupljuje proizvod. Mjerilo ekonomičnosti je cijena strojnih dijelova proizvedenih klasičnim postupkom. Samo onda ako je cijena sintrovanih dijelova niža, može se pristupiti proizvodnji postupcima metalurgije praha. U industrijski visokorazvijenim zemljama sintrovani strojni dijelovi sve se više primjenjuju pa se računa da će u skoroj budućnosti doseći čak 1% svjetske proizvodnje željeza i čelika.

Dijelovi od aluminija i magnezija. Strojni dijelovi od aluminija, magnezija i njihovih slitina nailaze na sve veću primjenu. Zahvaljujući najnovijim postupcima zgušćivanja, to jest istodobnim prešanjem i sintrovanjem (vruće prešanje), postiže se povećanje čvrstoće, napose one pri povišenim temperaturama. Aluminijski prah u te svrhe neznatno se površinski oksidira. Dijelovi od sintrovanog aluminija mogu se upotrijebiti čak na temperaturi od 540°C, što je otprilike za 160° više nego što izdrže i najbolje slitine aluminija.

Taj novi postupak zaguščivanja primjenjuje se i u proizvodnji strojnih dijelova od magnezija i njegovih slitina. Sintrovani proizvodi imaju veću čvrstoću pri povišenim temperaturama nego lijevani.

Dijelovi od mjedi. Ondje gdje se od strojnih dijelova traži žilavost i otpornost protiv rdanja dolazi u obzir upotreba mjedi. Postižu se čvrstoće od 20 do 25 kp/mm² i istezanje 20 do 30% veće nego što ima željezo sa 0,1% ugljika. Budući da je bakar deficitarna sirovina, dijelovi od mjedi prilično se ograničeno primjenjuju.

12.503 Klizni materijali

Klizni materijali su poroviti. Pore su ispunjene odgovarajućim mazivom, kao što je ulje, parafin i slično. Kostur, koji čini osnovni sastojak, često je protkan mazivom materijom, kao što je grafit, olovo ili sumpor. Osnovni sastojak kostura može biti željezo, bakar ili kositar. Obujam pora dosiže i do 35%. Postupci metalurgije praha idealno pogoduju proizvodnji kliznih materijala.

Željezni ležaji. Ondje gdje bi iz ma kojih razloga bilo otežano podmazivanje, primjenjuju se samopodmazivi ležaji. Pri malim brzinama do 0,5 m/s ležaji podnose tlak čak do 80 kp/cm². Povećanjem brzine njihova svrsishodnost naglo opada jer ulje sadržano u porama nije dostatno za podmazivanje. U takvu slučaju potrebno je dodatno podmazivanje. Pri veoma malim opterećenjima ti ležaji mogu raditi i uz velike obodne brzine (npr. u malim ventilatorima, usisavačima i slično). Debelostijeni porozni ležaji s malim sadržajem grafita podnose obodne brzine do 0,6 m/s.

Ležaji od bronce. Podnose veće obodne brzine i pritisak od željeznih ležaja. Sadržavaju oko 10% kositra i nešto grafita.

Ležaji s posteljicom od teflona (politetra fluoretilen). Teflon je praškasta meterija, izgledom poput voska, kemijski vrlo postojana i odličnih kliznih svojstava. Ležaji su tankih stijena, a primjenjuju se ondje gdje podmazivanje uljem ne bi bilo poželjno zbog dodira s kiselinama, lužinama, gorivima ili živežnim namirnicama.

Ležaji s posteljicom od olovne bronce. Imaju odlična klizna svojstva. Olovna bronca dobro vodi toplinu pa ležaji podnose velika opterećenja.

Drugi klizni materijali. Ovamo ubrajamo u prvom redu klipne prstenove, koji imaju bolja svojstva od lijevanih, pa čak dvostruko produljuju vijek motora. Upravo postupkom sintrovanja postiže se određena poroznost. U porama se taloži nagorjelo ulje, koje povećava otpornost prema trošenju. Daljnju skupinu raznih sitnih proizvoda čine porozni materijali natopljeni uljem. Primjenjuju se ondje gdje se zahtijeva otpornost prema trošenju ili samopodmazivanje (vodilice, klizni elementi itd.).

12.504 Tarni materijali

Suvremena prijevozna sredstva postavljaju sve veće zahtjeve na tarne materijale, koji služe za oblaganje spojki i kočnica. I ovdje su došle do izražaja prednosti sintrovanih tarnih materijala. Za njihovu izradu služe porozne slitine kositreno-olovne bronce s grafitom ili slitine željeza s grafitom. Tim slitinama dodaju se još nekovinske materije, kao što su kremen, azbest i slično. Pomoću sintrovanih tarnih materijala rješava se kočenje aviona. Disk-kočnice imaju tarni materijal na bazi kovino-keramike. Stalno se pronalaze sve bolji sintrovani tarni materijali.

12.505 Porozni materijali

Kovinski filtri. Primjenjuju se za čišćenje nafte. Time se sprečava začepljenje motornih sapnica. One zaustavljaju čestice veće od 0,005 mm. Slični filtri služe za uklanjanje vode iz benzina. Na taj način se sprečava zamrzavanje kapljica vode u vodovima. Kovinski filtar propušta benzin, koji ga veoma dobro kvasi, što nije slučaj s vodom.

Ulošci za prigušivanje i sigurnosne svrhe. Za osiguranje manometara od tlačnih udara u cjevovodima služe porozni ulošci. Pri mjerenju često promjenljivog tlaka ulošci omogućuju očitavanje srednje vrijednosti, sprečavaju eksploziju na plinskim žišcima jer onemogućuju povlačenje plamena u cjevovod. Osim toga prigušuju buku i štite pneumatske uređaje od prašine.

Porozna tijela za hlađenje ili grijanje. Tijela podvrgnuta naprezanju pri visokim temperaturama, ako mogu biti porozna, mogu se hladiti isparivanjem protiskivane tekućine, zrakom ili vodikom. Na taj način hlade se lopatice plinskih turbina, opterećeni

porozni kontakti, obloge izgorjevnih komora i slično. Rubovi avionskih krila osiguravaju se poroznim limom protiv zaleđenja. Kroz pore lima tlači se vrući plin ili tekućina koja snizuje ledište.

12.506 Materijali za kontakte

Upravo je metalurgija praha omogućila da se u istoj materiji spoji dobra električna vodljivost s otpornošću na svarivanje. Tako su dobiveni odgovarajući električni kontakti. Dijele se prema sastavu i načinu upotrebe na četiri skupine. To su:

1 — slitine srebra (Ag-Ni, Ag-CdO, Ag-Cr_2O_3)

2 — slitine kovina-grafit (Cu-grafit, Ag-grafit)

3 — slitine volframa (W-Cu, W-Ag)

4 — kovani volfram, prešani volfram i slitine sa sadržajem volframa iznad 90%.

Kontakti moraju imati prije svega malen, ali stalan prijelazni otpor i najvišu moguću trajnost. Pri odabiranju najprikladnijeg materijala za kontakte moramo uzeti u obzir vrstu struje, napon te brzinu i način prekidanja. Uz navedeno važan je zahtjev s obzirom na trajnost i otpornost prema oksidaciji te, konačno, svarivanje.

12.507 Materijali za vakuumsku tehniku

Upotrebljavaju se sve čiste kovine s visokim talištem, slitine kovina s malim sadržajem nekovinskih primjesa i posve čiste kovine i slitine (Fe). Nadalje se upotrebljavaju takozvani getri. To su kovine i slitine koje pri zagrijavanju u vakuumu ne otpuštaju plinove, već ih upijaju ili kemijski vežu (»getruju«). Getri omogućuju u elektronskim cijevima postizanje većeg vakuuma. U tu svrhu služe porozni otpresci iz praha nioba, tantala, cirkonija, torija, titana, barija, magnezija i fosfora.

U vakuumskoj tehnici nanose se postupcima metalurgije praha tanki slojevi praškastih kovina na kovinske podloge. Time se uslijed povećane specifične površine povećava isijavanje topline na elektrodama, odnosno poboljšava njihova radna sposobnost. Tanki slojevi nanose se i na keramičku podlogu.

12.508 Materijali za magnete

Kovinski, magnetno meki materijali. Primjenjuju se u jakostrujnoj elektrotehnici za izradu elektromagnetskih jezgara, transformatora i slično, a u slabostrujnoj elektrotehnici za elemente pamćenja (računski strojevi), telefoniju, pojačala itd. Uglavnom su ovog sastava: Fe, Ni-Fe, Fe-Si-Al.

Kovinski trajni magneti. Imaju obično ovaj sastav: Fe-Ni-Al-Cu, Fe-Co-Ni-Al-Cu, Mn-Bi i Fe-Co.

Oksidni magnetni materijali-feriti. Primjenjuju se za izradu jezgara (meki feriti). Njihov je sastav: $MnOZnO \cdot 2Fe_2O_3$, $NiOZnO \cdot 2Fe_2O_3$, $Li_2OZnO \cdot 2Fe_2O_3$ i $Y_3Fe_5O_{12}$ (gdje je Y element iz skupine rijetkih zemalja). Trajni magneti (tvrdi feriti) većinom su ovog sastava: $PbO \cdot 6Fe_2O_3$, $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ i $SrO \cdot 6Fe_2O_3$. U tu skupinu ubrajamo i magnetne materijale za izradu magnetofonskih vrpca (Fe_3O_4 ili Fe_2O_3 + umjetna masa).

12.509 Materijali za obradu i oblikovanje

Tvrdi metali. Tvrdi metali danas se primjenjuju veoma raznoliko. Dijele se u tri osnovne skupine:

1 — tvrdi metali za obradu (oblikovanje) skidanjem strugotine,

2 — tvrdi metali za oblikovanje bez skidanja strugotine i za dijelove izložene površinskom trošenju,

3 — tvrdi metali za primjenu u rudarstvu.

Svaka od tih osnovnih skupina se zbog lakše orijentacije pri odabiranju najsvrsishodnijeg tvrdog metala dijeli na uža područja primjene.

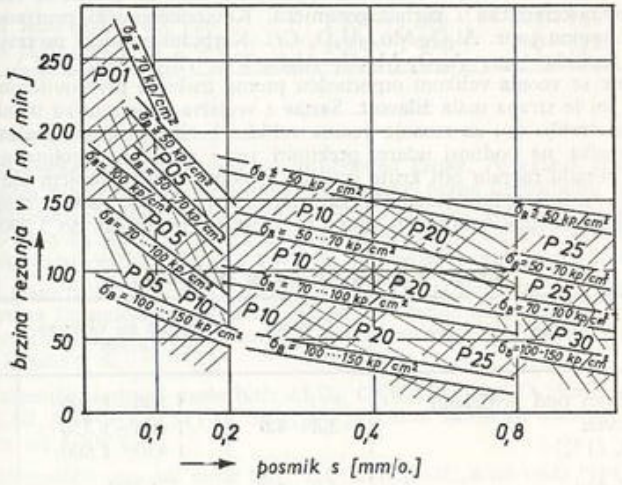
Tvrdi metali za oblikovanje skidanjem strugotine, kao što je tokarenje, glodanje, blanjanje, dubljenje, bušenje, razvrtavanje i slično prema JUS K.A9.020 (III—1966) podijeljeni su u tri glavne skupine prema obliku skinute strugotine. Označene su slovima P, M i K.

— Slovom P označeni su tvrdi metali koji služe za obradu materijala koji daje dugu strugotinu (čelik, čelični liv, kovkasti liv).

— Slovom M označeni su tvrdi metali koji služe i za obradu materijala koji daju dugu strugotinu i za obradu onih koji daju kratku strugotinu (čelik, čelik za automate, manganski tvrdi čelik, austenitni čelik, čelični liv, slitine sivog liva, obojeni metali).

— Slovom K označeni su tvrdi metali koji služe za obradu materijala koji daje kratku strugotinu (sivi liv, kovkasti liv, kokilni tvrdi liv, obojeni metali, kaljeni čelik, umjetne mase, drvo, nekovine).

Svaka od tih glavnih skupina (P, M i K) podijeljena je na skupine primjene s ovim oznakama: P01, P10, P20, P30, P40, P50, M10, M20, M30, M40, K01, K10, K20, K30 i K40. Ta podjela načinjena je na temelju uvjeta obrade (brzina rezanja i posmik). Kako rastu brojevi specifikacije unutar svake glavne skupine, tako raste i žilavost, a pada otpornost prema trošenju tvrdog metala. Što se tiče obrade, raste posmik, a pada brzina rezanja. Kao što se iz navedenog vidi, ta podjela ne govori o »vrstama« tvrdog metala. To je prepušteno samim proizvođačima. Pod »vrstom« tvrdog metala razumijeva se komercijalni naziv tvrdog metala za određenu skupinu primjene. Nijedna pak od tih skupina nije vrsta tvrdog metala i ne smije se s njome poistovjetiti. Naš tvrdi metal »VELEBIT«, na primjer, za skupinu primjene P20 ima vrstu označenu sa SV20. Prema tome, skupina primjene daje opseg, odnosno granice područja primjene i uvjete obrade.



⑥ Područja skupina primjene pri tokarenju čelika

Na ⑥ prikazana su područja upotrebe skupina primjene: P01, P05, P10, P20, P25 i P30 pri tokarenju čelika. Unutar tih granica proizvođači tvrdog metala treba da klasiraju svoje vrste.

Tvrdi metali proizvode se u obliku pločica, koje se leme na čelične drške. U posljednje vrijeme sve se više izbjegava lemljenje i prelazi na mehaničko stezanje pločica. Alati

s mehaničkim stezanjem pločica ekonomičniji su od onih gdje je ona lemljena. Kada istroši, pločica se izmijeni. Računa se da jedan držak izdrži do 100 izmjena ploč I u pogledu kvalitete postoje prednosti. Budući da se ne lemi, izbjegavaju se vrlo narušavanja kvalitete koja nastaju za vrijeme lemljenja.

Sastav tvrdih metala u toj osnovnoj skupini može biti ovaj: WC-Co, WC-TiC WC-TiC-TaC-Co, WC-TaC-Co i WC-TaC-WC-Co. Tehnički uvjeti za ispo propisani su prema JUS K.Cl.160 (III—1966).

Tvrdi metali za oblikovanje bez skidanja strugotine, kao što je izvlačenje, kivanje, kovanje, prešanje, valjanje, kalibriranje, duboko vučenje, utiskivanje i sl zasad još nisu standardizirani. Označivanje vrsta i njihova primjena prepušteni su izvođačima tvrdog metala. Tvrdi metal VELEBIT ima, na primjer, ove vrste: G GV10, GV15, GV20, GV30, GV40 i GV50. Najmanji broj u oznaci vrste ozn tvrdi metal, koji ima najveću otpornost prema trošenju, a najmanju žilavost. N broj u oznaci vrste označava tvrdi metal, koji ima najmanju otpornost prema troš a najveću žilavost. Brojevi između najmanjeg i najvećeg broja označavaju tvrde m koji u pogledu navedenih osobina označuju prijelazne stupnjeve. Tvrdi metal iz te pine služi još i za izradu raznih dijelova izloženih površinskom trošenju, kao št vodilice, vodeće čahure, vrhovi mjernih instrumenata, mjerke i slično. Sastav i WC-Co, WC-TaC-Co.

Tvrdi metali za primjenu u rudarstvu upotrebljavaju se za rotacijsko i u rotacijsko bušenje, za jezgrovanje i podsijecanje ugljena. Zasad još nisu standa rani pa su označivanje vrsta i njihova primjena prepušteni proizvođačima. Tvrdi VELEBIT ima, na primjer, ove vrste: BV6, BV9, BV12 i BV15. Brojevi označ stupnjeve osobina u pogledu otpornosti prema trošenju i žilavosti, slično kao u pre noj skupini. Sastava su WC-Co.

Rezna keramika. Sintrovane kovinske okside koji služe za obradu skidanjem st tine nazivamo rezna keramika. Ti su materijali još u razvoju. Danas se već naziru skupine: kovinokeramička i karbidokeramička. Kovinokeramički proizvodi sadr uz okside i kovinu (npr. Al_2O_3-Mo, Al_2O_3-Cr). Karbidokeramički proizvodi uz sadržavaju karbide (npr. Al_2O_3-Mo_2C, Al_2O_3-WC, Al_2O_3-Mo_2C-WC). Rezna mika odlikuje se veoma velikom otpornošću prema trošenju pri povišenim temp rama. Loša joj je strana mala žilavost. Sastav i svojstva prikazani su u tablici 4. materijali upotrebljavaju za rezanje veoma velikim brzinama i vrlo malim posm Rezna keramika ne podnosi udare, prekinuti rez i uopće nepovoljne uvjete o Strojevi za obradu moraju biti krute izvedbe s veoma velikim brojem okretaja. malne brzine rezanja za finu obradu čelika nalaze se između 400 i 800 m/min. Za o lakih i obojenih kovina ili njihovih slitina te se brzine penju čak do 3 500 m/mi

Sastav i svojstva rezne keramike Tabli

Slitina	Gustoća mg/mm³	Tvrdoća po Vickersu kp/mm²	Čvrstoć prijel kp/m
Al_2O_3 sintrovan pod pritiskom	3,8—4,0	1 200—1 400	30—
Al_2O_3 sintrovan		1 400—1 550	35—
Al_2O_3+SiO_2 (1%)		1 450—1 600	35—
Al_2O_3+10% Mo	4,0—4,2	1 800	35
Al_2O_3+40% Mo_2C	4,9	1 400	25
Al_2O_3+40% WC+Mo_2C	5,4	1 500—1 800	35—
Al_2O_3+60% WC	6,6—6,8	1 800—2 000	40—

Karbidi za navarivanje. Dijelovi alata ili uredaja izloženi trošenju često se za prevlakom karbida. To se postiže navarivanjem pomoću elektroda za zavarivanje njenim karbidom volframa. Tako se, na primjer, zaštićuju radni dijelovi bagera,

ača za ugljen, alata za dubinska bušenja itd. Osim elektroda upotrebljavaju se paste je se nanose na površinu predmeta, a zatim autogeno zavare.

rusni alati. Slitine na bazi dijamant-kovina primjenjuju se za izradu brusnih i rez- h ploča (dijamantne brusne ploče). Osim visokog učinka dijamantne brusne ploče zbog ovinskog veziva dobro odvode toplinu. Mokro brušenje nije neophodno. Nadalje, obri su vodiči električne struje pa služe za elektroabrazivnu obradu.

navedenom pregledu materijala za obradu zapaža se da su glavni sastojci slitina kar- di, oksidi i kovine. Karbidi i oksidi su nosioci tvrdoće, odnosno otpornosti prema šenju. Kovine su vezivo koje daje potrebnu čvrstoću. Fizikalna svojstva tih materijala ikazana su u tablici 5.

Fizikalna svojstva materijala za obradu Tablica 5.

Materijali za obradu	Tvrdoća po Vickersu HV kp/mm²	Čvrstoća na prijelom kp/mm²	Čvrstoća na tlak kp/mm²
jamant	8 000	20— 50	200
rkarbid sintrovan pod pritiskom	5 000	20— 30	200
icijev karbid	4 200	5— 15	100
$_2O_3$ sintrovan	3 000	20— 25	300
C-WC taljen	3 000	30— 40	300
C sintrovan pod pritiskom	3 000	30— 40	300
sintrovan	2 200	50— 60	300
+10% Co	1 800—1 900	70— 80	350
rdi metal K20 (WC+6% Co)	1 550—1 650	145—165	500
rdi metal K40 (WC+11% Co)	1 300—1 400	180—195	460

0 Vatrostalni materijali

ične vatrostalne keramičke materije prilično su krhke. Povećanje žilavosti moguće dodavanjem kovina. I opet postupci metalurgije praha objedinjuju inače suprotna jstva. Rezultat je pojava kovinokeramičkih materijala (engleski nazvani cermets). elomično smo ih upoznali u opisu rezne kreramike (12.509). Keramički sastojak silac je vatrostalnosti i tvrdoće, a kovinski je nosilac čvrstoće i toplinske vodljivosti.

trostalni materijali još su uvijek u razvoju. Najveće zahtjeve na njih postavlja raketna nika. Prema keramičkom sastojku dijele se na okside, karbide, silicide, boride i ni- de. Keramički sastojak često se naziva i tvrda materija. Svojstva tvrdih materija pri- ana su u tablici 6.

sidi. Keramički sastojak može biti: Al_2O_3, Cr_2O_3, MgO, SiO_2, ZrO_2 a kovinski Al, Cr, Fe, Ni, Mg, Co i Zr. Ti su materijali prikladni za manje opterećene dijelove do perature od 1 300°C.

rbidi. Keramički sastojak može biti: TiC, Cr_3C_2, SiC, a kovinski Ni-Co-Cr, Ni-Co- -Mo, Ni, Ag, Si, Co i Cr. Najviše se upotrebljavaju materijali na bazi TiC, a slu- za izradu lopatica plinskih turbina. Podnose temperature do 1 000°C.

icidi. Keramički sastojak je $MoSi_2$ a kovinski Fe, Co, Ni, Cr i Pt. Od svih silicida više se primjenjuje silicid molibdena. Odlikuje se dobrom električnom i toplinskom ljivošću, te otpornošću protiv oksidacije pri visokim temperaturama. Služi za izradu ačih tijela (Super-Kanthal), koja se ugraduju u električne peći s oksidacionom osferom. Podnosi temperaturu do 1 600°C.

Boridi. Keramički sastojak može biti ZrB_2, TiB_2, CrB_2, MoB_2 a kovinski Fe, Co i Ni. Podnose temperaturu do 1 300°C. Služe pri izradi ispušnih cijevi mlaznih i raketnih motora. Boridi se ubrajaju među najtvrđe materije.

Nitridi. Keramički sastojak je TiN, a kovinski Ni.

Fizikalna svojstva tvrdih materija

Tablica 6.

Tvrda materija	Gustoća mg/mm³	Mikrotvrdoća opterećenja 50 g kp/mm²	Talište °C
TiC	4,93	3 200	3 100
ZrC	6,9	2 600	3 500
VC	5,36	2 800	2 800
NbC	7,82	2 400	3 500
TaC	14,48	1 800	3 900
Cr_3C_2	6,68	1 300	1 900
Mo_2C	8,9	1 500	2 700
WC	15,7	2 400	3 900
W_2C	17,2	3 000	2 700
SiC	3,17	3 500	2 200
TiN	5,21	1 800	2 900
VN	6,04	—	2 050
NbN	8,4	—	2 050
TaN	14,1	—	3 100
BN	—	10 000	1 900
ZrB_2	6,2	2 200	3 000
TiB_2	4,4	2 600	2 300
CrB_2	5,6	1 800	1 850
MoB_2	8,0	1 400	2 250
WSi_2	—	1 100	2 150
$MoSi_2$	—	1 300	2 030
$TaSi_2$	—	1 560	2 400

12.511 Materijali za nuklearnu tehniku

Materijali za zaštitu protiv zračenja. — Upotrebljavaju se materijali s velikom specifičnom težinom. To su uglavnom slitine volframa. Mogu se upotrijebiti i željezo ili druge kovine u prahu kao dodatak betonu.

Konstruktivni materijali. Za izgradnju atomskih reaktora potrebne su razne vrste materijala proizvedenog postupcima metalurgije praha. Na primjer, berilij služi za izradu moderatora. Niob je svojom dobrom čvrstoćom pri visokim temperaturama i otpornošću prema rastaljenim kovinama veoma dobar materijal za izmjenjivače topline. Rastaljene niskotaljive kovine (Na, Hg, Sb, Pb) služe za prijenos topline u uređajima za pretvorbu nuklearne energije u toplinsku.

Nuklearna goriva. Goriva za atomske reaktore (U, Th, Pu) moraju biti veoma čista. Čišćenje je prilično složeno, a obično se završava redukcijom prikladnog spoja u praškasti uran ili torij.

DEFTERDAROVIĆ Nafis, dipl. inženjer kemije

UMJETNI MATERIJALI

13 UMJETNI MATERIJALI (plastične mase) 316

13.1 OPĆENITO O PLASTIČNIM MASAMA 316
Svojstva — Primjena — Dobivanje

13.2 PODJELA PLASTIČNIH MASA 320
Podjela prema načinu nastajanja, toplinskim i fizikalnim svojstvima

13.3 KRATICE ZA OZNAČIVANJE 322

13.4 DODACI PLASTIČNIM MASAMA 323
Punila — Plastifikatori (omekšivači) — Stabilizatori — Akceleratori (otvrdivači) — Boje — Sredstva za podmazivanje

13.5 OBLICI SIROVIH PLASTMASA ZA TRŽIŠTE 324

13.6 IDENTIFIKACIJA PLASTIČNIH MASA 324

13.7 PREGLED SVOJSTAVA VAŽNIJIH PLASTIČNIH MASA 326
Polietilen — Polipropilen — Poliizobutilen — Polistirol (Polistiren) — Polivinilklorid tvrdi i meki — Poli-tetra-fluor-etilen — Polimetakrilat (esterо-polimetakrilne kiseline) — Fenolne smole — Aminoplasti — Poliesterske smole — Poliamid — Silikoni (polisiloksani) — Poliuretani — Epoksismole (etoksilinske smole) — Vulkanfiber — Celulozni hidrat, nitrat, acetat i eteri

Literatura:

Krajčinović M.: Organska kemijska tehnologija, skripta, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1964.

Levi B.: Tvrdi polivinilklorid, Tehnička knjiga, Zagreb 1955.

Radić I.: Nemetali, skripta, Visoka tehnička škola, Zagreb 1961.

Rakar Z.: Veštačke materije, Stručna biblioteka JS, Beograd 1948.

Sabioncello P.: Poznavanje materijala, skripta, Sveučilišna litografija, Zagreb 1950.

Časopis »*Zaštita materijala*« SITZM, Beograd

13 UMJETNI MATERIJALI (PLASTIČNE MASE)

13.1 OPĆENITO O PLASTIČNIM MASAMA

Materijali dobiveni umjetnim, najčešće kemijskim putem, nazivaju se **umjetnim tvarima,** za razliku od onih koji nastaju u prirodi, npr. umjetne smole i prirodne smole, umjetna svila i prirodna svila, umjetna crijeva i prirodna crijeva itd.

Umjetne tvari možemo podijeliti:

a) na anorganske (staklo, porculan, opeke i dr.) i

b) na organske (bakelit, polivinil-klorid, pleksiglas, polietilen, polistirol, celofan, celuloid, galalit i dr.).

Anorganske umjetne tvari obrađuju se posebno (v. poglavlje Nemetali).

U ovom dijelu bavit ćemo se isključivo organskim **umjetnim tvarima,** tzv. **plastičnim masama** ili, kraće, **plastmasama** (engleski: plastics, francuski: matières plastiques, njemački: Kunststoffe ili Plaste, ruski: Пластмасса.

Plastične mase su materijali čiji su bitni sastojci izgrađeni od makromolekularnih organskih spojeva, koji nastaju sintetski ili pretvorbom prirodnih proizvoda. One su po pravilu pri preradi uz određene uvjete prikladne za plastično oblikovanje ili su plastično oblikovane.

Plastične mase nisu više obična zamjena za prirodne proizvode, već konstruktivni materijal u elektrotehnici, strojarstvu itd. Potreba i značenje plastičnih masa očituju se u stalnom povećanju proizvodnje.

Svjetska proizvodnja plastičnih masa (bez SSSR) iznosila je u hiljadama tona (1 000 t):

1904.	10	1950.	1 500
1932.	100	1955.	3 100
1938.	300	1960.	6 300
1947.	870	1963.	8 530

Od 8 530 hiljada tona u 1963. godini proizvele su plastičnih masa:

	u 1 000 t
Sjedinjene Američke Države	3 767
Savezna Republika Njemačka	1 427
Japan	1 061
Engleska	729
Italija	625
Francuska	508
ostale zemlje (bez SSSR)	413

Po vrsti plastičnih masa proizvedeno je u SAD, prema podacima za 1963. godinu, u postocima otprilike:

Vrsta plastičnih masa	**u %**
Polietilenske	26
Polivinilne	21
Polistirolne	17
Fenol i krezol-formaldehidne	8,6
Alkidne	6,6
Karbamid-formaldehidne	6,5
Polipropilenske	2,2
Celulozno-eterne	1,8
Epoksidne	1,0
Sve ostale	9,3

13.11 SVOJSTVA PLASTIČNIH MASA

Plastične mase imaju niz svojstava koja klasični materijali, npr. nemetali, nemaju. Ovdje mislimo na dobra, povoljna i djelomično na nepovoljna svojstva.

Dobra (ili bolja) svojstva plastičnih masa u usporedbi s nemetalima jesu:

1 — mala gustoća (specifična težina) otprilike 0,92—1,9 g/cm³;
2 — dobra električna izolacijska svojstva;
3 — mala toplinska vodljivost, tj. dobra toplinska izolacijska svojstva;
4 — dobra postojanost prema koroziji, postojanost prema kiselinama, lužinama i djelomično prema otapalima, površinska zaštita nije potrebna kao kod metala;
5 — ne djeluju fiziološki štetno, bez mirisa su i bez okusa;
6 — dobro se daju obrađivati skidanjem i bez skidanja strugotine;
7 — dobro se daju bojadisati u samoj masi, kao i površinski.

Nepovoljna svojstva plastičnih masa nasuprot metalima jesu:

1 — slabo su otporne prema toplini;
2 — veliko im je istezanje na toplini;
3 — mala čvrstoća u većini slučajeva;
4 — zapaljivost.

Među prednosti plastičnih masa u usporedbi s drugim materijalima mogla bi se ubrojiti i cijena koštanja, koja u posljednje vrijeme pokazuje stalnu tendenciju pada, dok proizvodnja raste. Neke plastične mase proizvode se i kod nas, npr. polivinil-klorid, polietilen, polistirol i dr., što omogućuje širu primjenu tih materijala u našoj zemlji.

13.12 PRIMJENA PLASTIČNIH MASA

Plastične mase upotrebljavaju se:

1 — **za proizvodnju predmeta široke potrošnje,** kao što su:
- crtaći i pisaći pribor, držala, olovke, naliv-pera, ravnala, trokuti, logaritamska računala
- posude, boce, čepovi i zatvarači za potrebe prehrambene, kemijske i farmaceutske industrije
- pribor za jelo, posude, posude za smeće, kućanski aparati i pribor
- dugmad, češljevi, okovi za namještaj, ručke, toaletni pribor, naočale
- igračke, lopte
- šljemovi za rudare i za automobiliste
- pločice za reljefno utiskivanje brojeva, slova i znakova itd.

2 — **za opremu motornih vozila, aviona, željeznica i brodova, uključivši i tzv. organsko staklo (pleksiglas), čamce i sl.**

3 — **za izradu tehničkih aparata, strojeva i opreme,** kao što su:
- pumpe, ventilatori, zupčanici, ležaii osovina, cijevi, posude, filtrir-preše, dizalice (kranovi), ventili i armature, akumulatorske kutije i separatori; kutije za radio-aparate, tranzistore i foto-aparate, električna zvonca i za brijaće aparate; utikači, prekidači, kutije za razne instrumente i aparate

4 — **za folije, za filmove i za umjetnu kožu,** npr.
- materijal za pakovanje sitnog alata, aparata i druge tehničke robe u svrhu zaštite od korozije, za ambalažiranje robe široke potrošnje
- antikorozivna zaštita i oblaganje posuda, cijevi i aparata
- kišne kabanice, stolnjaci, ukrasno oblaganje, kaširanje kartona
- fotografski filmovi, magnetofonske vrpce
- torbe, kovčezi, obuća

5 — **za električne i toplinske izolacijske materijale**

6 — **za premaze i ljepila,** kao što su
— obični i antikorozivni premazi, ljepila

7 — **za obloge za zidove i podove, za ukrasne pločice, za obloge kanala za otpadne vode u industriji**

8 — **za elastični materijal,** kao što su
— umjetni kaučuk za dijelove motornih vozila, brtvila, prigušivači (puferi)
— sanitetski materijal i pribor

9 — **za vlakna**

10 — **za proizvodnju raznih ostalih predmeta** kao što su
— građevinski elementi, vrata itd.

13.13 DOBIVANJE PLASTIČNIH MASA

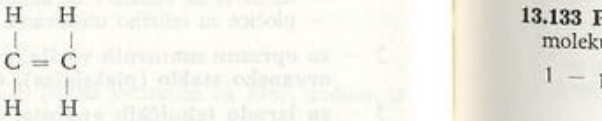
Najvažnije sirovine — proizvodi i poluproizvodi za dobivanje plastičnih masa jesu: ugljen, nafta, zemni plin, katran, vapno, acetilen, benzen (benzol), etilen, stirol, aceton, cijanovodik, cijanhidrin, kloroform, fluorovodična kiselina, solna kiselina, klor, fenol, formaldehid, kalcij-cijanamid, krezol, urea (karbamid, mokraćevina), butindiol, diizocijanati, dialkoholi, epiklorhidrin, kremeni pijesak (silicijev dioksid), drvo, celuloza, azbest, staklena vuna, silicij-tetraklorid, sumporna kiselina, natrijeva lužina, ugljični disulfid, dušična kiselina, octena kiselina, anhidrid octene kiseline, mlijeko, kazein, bjelančevine i dr.

Način dobivanja. Plastične mase mogu se dobiti različitim kemijskim postupcima. Razlikujemo tri tipa reakcija, koji omogućuju sintezu makromolekula:

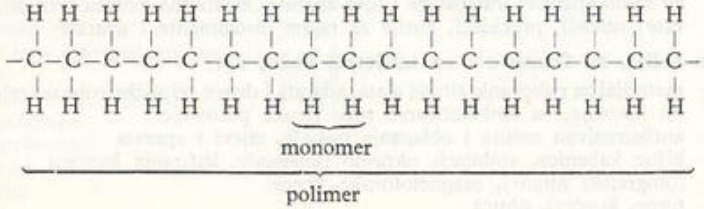
13.131 Polimerizacija. Ta reakcija se sastoji u sakupljanju mnogobrojnih, malih, nezasićenih većim dijelom istih molekula u veće, djelovanjem topline, pritiska i nekih katalizatora, pri čemu se nezasićeni karakter sasvim ili djelomično gubi. Mala molekula zove se »monomer«, dok je konačan proizvod »polimer« (grčki: monos = jedan, sam; poly = mnogo; meros = dio). Pri toj reakciji ne izlučuju se nikakve druge tvari.

Na primjer:

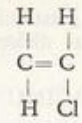
1 — osnovna molekula, monomer, plina **etilena:**



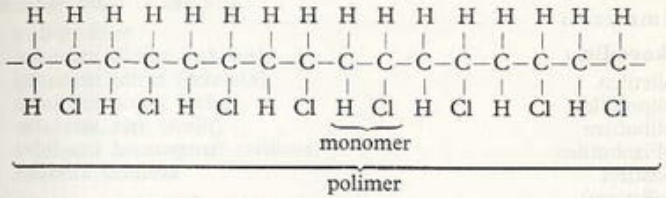
i jedan dvostruki vez između C-atoma prijeći će polimerizacijom u **polietilen:**



2 — osnovna molekula, monomer **vinil-klorida**



S jednim nezasićenim dvostrukim vezom između C-atoma prijeći će polimerizacijom u **polivinil-klorid:**



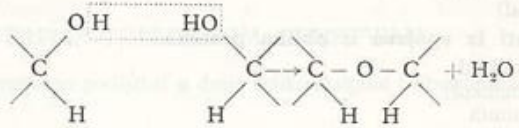
Molekule se sastoje, kako vidimo, od dugih lanaca.

Proizvodi polimerizacije zovu se **polimerizati.**

13.132 Polikondenzacija. Pri toj reakciji se više malih molekula sakuplja u vrlo velike molekule uz izdvajanje nekih manjih molekula, npr. molekula vode, alkohola, sumporovodika, halogenvodika, amonijaka, vodika.

Molekularna težina polikondenzata bit će umanjena za onoliko koliko je težak izlučeni spoj, npr. voda.

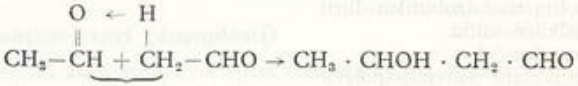
Visokomolekularni spoj može biti postepeno izgrađen, a reakcija može biti prekinuta bilo u kojoj fazi (stupnju). Na primjer, shematski prikazana polikondenzacija:



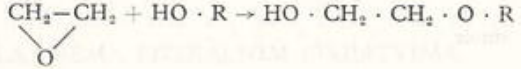
Proizvodi polikondenzacije zovu se **polikondenzati.**

13.133 Poliadicija. Pri toj reakciji sakupljaju se jednake ili najmanje dvije vrste manjih molekula u veliku molekulu bez izlučivanja nekih tvari. Na primjer:

1 — poliadicija acetaldehida:



2 — poliadicija hidroksil-spoja na etilenoksid pri stvaranju epoksidnih smola:



Proizvodi poliadicije zovu se **poliadukti.**

13.2 PODJELA PLASTIČNIH MASA

Zadovoljavajuću klasifikaciju plastičnih masa nije moguće strogo provesti jer pri svakom primijenjenom sistemu dolazi djelomično do međusobnog preklapanja i proturječja.

13.21 PODJELA PREMA NAČINU NASTAJANJA

Plastične mase dijele se prema **načinu svoga nastajanja** (stvaranja molekula) ovako:

13.211 Sintetske plastične mase

13.211.1 Polimerizati

1 — **Ugljikovodici:**
- polietilen
- polipropilen
- polibutilen
- poliizobutilen
- polistirol (polistiren)
- kumaronske smole i polivinil-karbazol

2 — **Vinil-polimerizati:**
- polivinil-klorid
- poliviniliden-klorid
- politetrafluoretilen i politrifluorkloretilen
- polivinil-ester polivinil-alkohol polivinil-acetal
- polivinil-eter
- derivati poliakrilne kiseline
- poliformaldehid (polioksimetilen) (poliacetal)

3 — **Polimerizati iz spojeva u obliku prstena**
- polietilenoksid (polietilenglikol)
- polietilenimin

4 — **Kaučuk-elastične plastične mase**
- butadien-kaučuk
- ostale kaučuk-elastične plastične mase:
- kopolimerizat-butadien alkilnitril
- klorbutadien-kaučuk,
- izobutilen-polimerizat,
- kopolimerizat-izobutilen-dijen
- polialkilen-sulfid
- silikon-kaučuk
- plastificirani polivinil-spojevi

13.211.2 Polikondenzati
- fenoplasti
- aminoplasti
- poliesterske smole
- poliamidi
- silikoni
- tiokoli

13.211.3 Poliadukti (poliadicioni spojevi)
- poliuretani
- epoksidne smole

13.212 Polusintetske plastične mase

To su plastične mase iz prethodno stvorenih makromolekula prirodnih proizvoda

1 — Plastične mase iz celuloze:
- vulkan-fiber
- celulozni hidrat (celofan)
- celulozni nitrat (celuloid)
- celulozni acetat (celon)
- celulozni eter (trolit)
- celulozni ksantogenat (viskoza)
- bakrena celuloza

2 — Plastične mase iz bjelančevina:
- umjetni rog (galalit)

3 — Plastične mase iz prirodnog kaučuka
- klor-kaučuk
- kaučuk-hidroklorid
- ciklo-kaučuk

13.213 Umjetna vlakna

1 — sintetska

2 — polusintetska

13.22 PODJELA PREMA TOPLINSKIM SVOJSTVIMA

Plastične mase možemo podijeliti u dvije velike skupine s obzirom na njihovo ponašanje na toplini.

13.221 Termoplastične tvari (termoplasti)

To su tvari koje u toplom stanju omekšaju, postaju plastične, daju se lako obrađivati, a pošto se ohlade, stvrdnu se i postaju čvrste. Pri ponovnom zagrijavanju ponovno omekšaju, itd. Taj se postupak može više puta ponoviti, a da se masa kemijski ne promijeni. U tu skupinu spadaju većinom polimerizacioni proizvodi, proizvodi na bazi celuloze i životinjskih bjelančevina i neki polikondenzati.

13.222 Termostabilne tvari (duroplasti)

To su tvari koje pri zagrijavanju na višim temperaturama omekšaju, postaju plastične, ali daljnjim zagrijavanjem otvrdnu te se ponovnim zagrijavanjem više ne daju omekšati. U tu skupinu spadaju pretežno polikondenzacijski proizvodi, koji se pri tom kemijski promijene.

13.23 PODJELA PREMA FIZIKALNIM SVOJSTVIMA

Po prijedlogu DIN E-7731 novembar 1949. plastične mase podijeljene su prema fizikalnim svojstvima ovako:

13.231 Duroplasti. To su plastične mase koje se pri zagrijavanju kemijski promijene, omekšaju i mogu se oblikovati, a nakon ohlađivanja konačno otvrdnu te postaju netopive u organskim otapalima. Njihove molekule u čvrstom stanju imaju trodimenzionalnu prostornu mrežicu. Ponovnim zagrijavanjem ne mogu više omekšati.

U tu vrstu spadaju uglavnom polikondenzacijski proizvodi, polikondenzati.

13.232 Termoplasti. To su plastične mase koje pri zagrijavanju omekšaju, mogu se lako oblikovati, a kemijski se pri tome ne mijenjaju. Kad se ohlade, otvrdnu, ali ponovnim zagrijavanjem opet omekšaju i postaju plastične. Njihove molekule sastoje se od dugih lanaca.

U tu vrstu spadaju pretežno polimerizacijski proizvodi, polimerizati.

13.233 Elasti su tvari koje imaju prvenstveno karakter mekih termoplasta, ali premošćenjem veza prelaze u gumielastično stanje. Takvo kemijsko lančasto vezivanje zove se vulkanizacija.

13.234 Fluidoplasti su tekuće mase koje se upotrebljavaju za izradu pomoćnih sredstava, npr. ljepila.

13.3 KRATICE ZA OZNAČIVANJE VISOKOPOLIMERNIH SPOJEVA NA BAZI KEMIJSKE IDENTIFIKACIJE

Prema prijedlogu ASTM (American Society for Testing Materials) D-1600-58 T i SPI (The Society of the Plastics Industry, Inc.) po Classification of Plastics visokopolimerni spojevi označuju se kraticama na temelju engleskih naziva za pojedine plastične mase. To označivanje ima praktičnu i internacionalnu vrijednost, pogotovu ako se podudara s označivanjem u drugim stranim jezicima.

Predložene su ove oznake:

ABS	akrilonitril-butadien--stiren (stirol)	PAA	poliakril-acid (poliakrilna kiselina)
CA	celulozni acetat	PAN	poliakrilo-nitril
CAB	celulozni acetat butirat	PBAN	polibutadien-akrilonitril
CMC	karboksimetil-celuloza	PBS	polibutadien-stiren (stirol)
CN	celulozni nitrat	PC	polikloropren
CP	celulozni propionat	PCTFE	polimonoklorotrifluoroetilen
DAP	dialil-ftalat	PE	polietilen
DBP	dibutil-ftalat	PIB	poliizobutilen
DCP	dikapril-ftalat	PIBI	poliizobutilen-izopren
DIDA	diizodecil-adipat	PMCA	polimetil-α-kloroakrilat
DIDP	diizodecil-ftalat	PMMA	polimetil-metaakrilat
DIOA	diizooktil-adipat	PP	polipropilen
DIOP	diizooktil-ftalat	PS	polistiren (polistirol)
DNP	dinonil-ftalat	PTFE	politetrafluoretilen
DNODP	di-n-oktil n-decil-ftalat	PVA	polivinil-alkohol
DOA	dioktil-adipat	PVAc	polivinil-acetat
DOZ	dioktil-azelat	PVB	polivinil-butirat
DOP	dioktil-ftalat	PVC	polivinil-klorid
DOS	dioktil-sebacat	PVCAc	polivinil-klorid-acetat
EA	ester-alkid (alkidni ester)	PVF	polivinil-formal
EC	etil-celuloza	S	silikonska smola
HH	halogenirani hidrokarbon /politetrafluoretilen/ (ugljikovodik)	TCP	trikrezil-fosfat
		TOF	trioktil-fosfat
MF	melamin-formaldehid	UF	urea-formaldehid (karbamid-formaldehid)
MM	metil-metakrilat	VC	viniliden-klorid
PA	poliamid (nylon)	VCA	vinilklorid-acetat

Prema toj klasifikaciji označuju se svojstva plastičnih masa ovim kraticama:

M — mehanička svojstva
E — električna svojstva
T — termička svojstva
C — kemijska svojstva
A — svojstva starenja (ageing).

13.4 DODACI PLASTIČNIM MASAMA

Pri preradi plastičnih masa primjenjuju se ova pomoćna sredstva:

13.41 PUNILA se dodaju prvenstveno kod termostabilnih masa da bi poboljšala svojstva plastičnih masa s obzirom na zahtjeve koji se postavljaju pri njihovoj primjeni, npr. otpornost prema lomljenju, kidanju, temperaturi, pritisku i elektroizolacijska svojstva. Kao punila upotrebljavaju se uglavnom drveno brašno, celuloza, platno, papirna vlakna, grafit, staklena vuna, gips, barijev sulfat, cinkov oksid, azbest, kreda, kaolin, infuzorijska zemlja, liskun (muskovit) itd.

Punila, osim toga, snizuju i cijenu proizvoda jer su ti dodaci jeftiniji od plastičnih masa.

13.42 PLASTIFIKATORI (omekšivači) su tvari koje dodajemo plastičnoj masi da poboljšamo njezino omekšavanje, savijanje, rastezanje i obradljivost. Tu se radi o tekućim (u nekim slučajevima čvrstim) tvarima, koje su tešto hlapive i koje s plastičnom masom stvaraju homogenu smjesu. Za duroplaste i neke termoplaste nema omekšivača, dok za polivinil-klorid, polivinil-acetat i celulozni ester omekšivači imaju posebno značenje.

Najvažnije skupine omekšivača jesu:

1 — ftalati (esteri ftalne kiseline), npr.
— dioktil-ftalat (DOP), omekšivač za PVC polimerizate, nitrocelulozne lakove itd.
— dimetil-ftalat i dietil-ftalat, omekšivači za acetilcelulozu itd.

2 — **fosfati,** npr. trikrezil-fosfat, omekšivač za polivinil-klorid i nitrocelulozne lakove

3 — **aciklički (alifatski) esteri dikarbonskih kiselina,** npr. dioktil-adipat, didecil--adipat itd.

4 — **esteri masnih kiselina,** npr. butil-oleat i butil-stearat, omekšivači za PVC-mase

5 — **esteri citronske kiseline,** npr. acetil-trietil-citrat, omekšivač za celuloid i acetil--tributil-citrat, omekšivač za PVC-folije

6 — **polimerni omekšivači** za ljepila i folije, npr. poliesteri dikarbonskih kiselina (adipinske, sebacinske, ftalne itd.), glikoli, epoksidna ulja i sl.

13.43 STABILIZATORI su tvari koje se dodaju nepostojanim materijalima da ih učine postojanima. Na primjer, kod polivinil-klorida i poliviniliden-klorida temperatura obrade i temperatura razlaganja leže jedna blizu druge tako da se plastična masa mora zaštititi protiv djelovanja topline. Zbog toga se dodaju stabilizatori (metalne soli, metaloorganske ili čiste organske tvari), koji umanjuju raspad i izlučene proizvode čine neškodljivima. Druge plastične mase, npr. nezasićeni poliesteri i polietilen, nisu postojani prema svjetlosti pa im se dodaju svjetlosni stabilizatori.

13.44 AKCELERATORI (OTVRĐIVAČI) su tvari koje se dodaju plastičnim masama da otvrdnu, npr. nekim duroplastima. To je uobičajeni postupak pri lijevanju i dobivanju lakova. Ako se nezasićeni poliester pomiješa s peroksidom, izazvat će polimerizaciju, pa se on također označava kao akcelerator. Poliamini djeluju kao otvrđivači za epoksi--smole.

13.45 BOJE se dodaju radi ljepšeg izgleda plastičnih masa. Bojenje plastičnih masa provodi se u većini slučajeva tako da se boja unese u samu masu, a ne na površini, iako se i bojadisanje površine može provesti. Za bojenje plastičnih masa služe anorganski i organski pigmenti ili organske topive boje. Pri izboru boja mora se paziti da boja prolazi sve radne operacije kao i sama plastična masa, pa ne smije pretrpjeti promjene niti štetno djelovati na plastičnu masu.

13.46 SREDSTVA ZA PODMAZIVANJE su tvari koje se dodaju plastičnim masama u malim količinama radi lakšeg curenja (tečenja) i da se spriječi lijepljenje i prianjanje gotovih proizvoda na matrice. Dodaju se ili direktno na same matrice ili u malim količinama samim plastičnim masama. Kao sredstva za podmazivanje ovdje dolaze u obzir: lako strojno ulje, parafin, vazelin, stearin, lanolin, neutralni metalni sapuni i dr.

13.5 OBLICI SIROVIH PLASTIČNIH MASA ZA TRŽIŠTE

Sirove plastične mase — duroplasti, termoplasti, celulozni proizvodi, elasti i smole za lakove — dolaze na tržište u obliku:

1 — **praha** (npr. polivinil-klorid i dr.)
2 — **disperzije (emulzije)** — (npr. sintetski kaučuk, polivinil-acetat, polistirol, akrilne smole i dr.)
3 — **otopine** (npr. polivinil-acetat i neke akrilne smole u odgovarajućem otapalu)
4 — **pahuljica** (npr. celulozni acetat, celulozni nitrat, celulozni butirat i druge mase na bazi celuloze)
5 — **paste** (npr. kod polivinil-klorida dispergiranog u tekućem omekšivaču)
6 — **granulata** (npr. kod termoplastičnih masa)
7 — **komada, ploča i blokova** (npr. tvrde smole u obliku krhotina; sintetski kaučuk, poliizobutilen, polietilen, poliamid u obliku ploča i blokova)
8 — **prešane mase** (u obliku praha ili zrnate mase sastavljene od prave plastične mase kao veziva te punila, boje i dr.)
9 — **tekućih smola** (npr. nezasićeni poliesteri, silikonska ulja, fenolne smole koje nemaju otapala, polivinil-eter i dr.).

13.6 IDENTIFIKACIJA PLASTIČNIH MASA

Određivanje sastava plastičnih masa nije jednostavno. Traje dugo vrijeme i zahtijeva niz ispitivanja, koja spadaju u područje rada specijaliziranih fizikalno-kemijskih laboratorija.

Za praktične potrebe mogu poslužiti brze metode određivanja, koje nisu sasvim tačne, ali u većini slučajeva su dovoljne za orijentaciju o kakvom se tipu plastične mase radi.

Jedna od takvih brzih metoda temelji se na ponašanju plastičnih masa na plamenu. To je tzv. **test gorenja.** Ta metoda sastoji se u tome da se mala količina strugotine ili odreska plastične mase drži pincetom (ili na platinskoj igli) na plamenu šibice ili plinskog plamenika. Ako uzorak ne gori, drži se najviše 10 sekundi na plamenu. Kad se plamen nakon 10 sekundi ukloni, može se po mirisu nagorene (zapaljene) plastične mase i po boji plamena približno odrediti vrsta plastične mase — tablica 1.

Identifikacija plastičnih masa
(Test gorenja) Tablica 1.

Red. br.	Ponašanje uzorka na plamenu	Boja i vrsta plamena	Miris uzorka plastične mase na toplini	Tip plastične mase
1.	Gori i pošto se uzorak iznese iz plamena. Opaža se obojenje plamena u prvoj sekundi gorenja	svijetlobijela, naglo izgara		celulozni nitrat
		plava, bijeli vrh	po cviječu ili po voću	akrilna smola
		plava	po spaljenom lišću, po svježem celeru, po zapaljenom rogu	poliamid
		plava s iskrama	po užeglom maslacu	acetobutirat
		plava bez iskri	po užeglom maslacu	butiral
		žuta sa zelenim rubom	po spaljenoj gumi	klor-kaučuk
		bez boje, crvenoljubičast rub	po octu	acetal
		žuta, svijetleća bijela	po užeglom maslacu	acetobutirat
		žuta, svijetleća bijela, čađav	slatkast, po cviječu	polistirol (polistiren)
		žuta sa zelenim rubom	po octu	celulozni acetat
		žutozeleni rub, izgara dobro nakon kraćeg vremena	slabo slatkast	acetil-celuloza
2.	Gori, a pošto se uzorak ukloni iz plamena, prestaje gorjeti. Drži li se uzorak na rubu plamena, opaža se njegovo obojenje	jako zelena	po spaljenoj gumi	klor-kaučuk
		zelena	kiselkast, ali ne po spaljenoj gumi	vinilna smola
		zelena	slatkast	vinilidenska smola
		zelena s iskrama izorjelog materijala	po octu	celulozni acetat
		žuta	po zagorjelom mlijeku	kazein
		žuta	po anilinu	anilinska smola
3.	Gori i ne mijenja se		po formalinu	urea (karbamidna) smola
			po formalinu i ribama	melaminska smola
			po formalinu i fenolu (karbolu)	fenolna smola
4.	Uzorak omekšava i pravilno gori	sjajan (svijetleći) plamen	po parafinu	polietilen
5.	Uzorak brzo izgara	bijela	po kamforu	celuloid
6.	Uzorak ne gori i ne pougljeni			silikoni polimeri fluora

13.7 PREGLED SVOJSTAVA VAŽNIJIH PLASTIČNIH MASA

POLIMERIZATI: 1 — ugljikovodici

Tablica 13.701

POLIETILEN

Monomer:

$CH_2 = CH_2$

Makromolekula:

$\wedge\wedge\wedge CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \wedge\wedge\wedge$

Trgovačko ime:

lupolen, hostalen, trolen, ecepolen (D), alkathen (E), polythene, marlex 50 (USA)

Tip: termoplast

Sirovine: ugljen ili nafta, ili zemni plin, ili acetilen

Dobivanje: polimerizacijom etilena u polietilen

Meki polietilen (normalan, visokotlačni) dobiva se pri visokim pritiscima, dok se **tvrdi polietilen** većinom dobiva pri niskim pritiscima. Sirova masa dolazi u obliku granula. Uobičajeni dodaci su sredstva za zaštitu protiv starenja, čađa za zaštitu od djelovanja svjetla, poliizobutilen za povećanje mekoće. Poluproizvodi u obliku folija, ploča, blokova, cijevi i dr.

Primjena: u građevinarstvu, elektroindustriji, kemijskoj i prehrambenoj industriji, za ambalažu (cijevi, elektroizolacije, posude itd.).

Tehnički podaci	Jedinice	PE-meki	PE-tvrdi
1. Gustoća	g/cm³	0,92—0,94	0,94—0,97
2. Točka mekšanja	°C	80—100	120
3. Točka raspadanja	°C	250	250
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	otprilike —60	otprilike —50
5. Koeficijent linearne topline rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	240—200	200—103
6. Toplinska vodljivost	kcal/m·h·°C	0,30	0,37
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	—	—
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	40—50	40—60
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	90—140	220—340
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	—	—
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	—	360
12. Modul elastičnosti	kp/cm²(10^{-3})	2—2,5	5—11
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	otprilike 100	otprilike 300
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	<0,1	<0,1
15. Zapaljivost		gori	gori

Kemijska otpornost: otporan prema slabim kiselinama, slabim i jakim lužinama, esterima i alkoholima; uvjetno postojan prema benzinu, benzolu i jakim kiselinama; dok je nepostojan prema eteru, anilinu, kloru, kloriranim ugljikovodicima, fenolu, nafti i dr.

POLIPROPILEN

Monomer:

$CH_3 - CH = CH_2$

Makromolekula:

$\wedge\wedge\wedge CH_2 - CH \wedge\wedge\wedge$ (CH₃ bočno)

Trgovačko ime:

hostalen TTH, luparen, vestolen P (D), daplen (A), propaten, ulstron (E), pylen (J), meraklon, moplen (I), oleform, profaks (USA)

Tip: termoplast

Sirovine: propilen, koji se dobiva pri krekiranju nafte

Dobivanje: polimerizacijom propilena u polipropilen pri niskim temperaturama pomoću katalizatora. Sirova masa dolazi u obliku granulata, sličnom vosku. Poluproizvodi dolaze u obliku folija, ploča, cijevi i štapova. Obrada se izvodi zavarivanjem i toplim oblikovanjem.

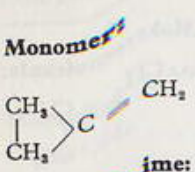
Primjena: u brodogradnji, u mašinogradnji, u fotoindustriji, u kemijskoj i automobilskoj industriji, u elektroindustriji itd., za brodske vijke, cijevi, dijelove strojeva, kemijske aparate, kućne potrepštine, za ambalažu itd. U posljednje vrijeme imaju veliko značenje polimerizati miješani iz etilena i propilena

Tehnički podaci	Jedinice	PP
1. Gustoća	g/cm³	0,9
2. Točka mekšanja	°C	158—171
3. Točka raspadanja	°C	otprilike 250
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	— 20
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	200
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	0,19
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	40
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	350
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	1 100
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	430
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	15
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	630
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	~0
15. Zapaljivost		gori

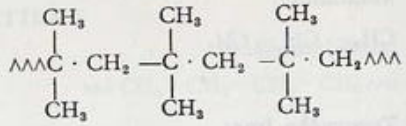
Kemijska otpornost: otporan prema slabim kiselinama i slabim lužinama, uvjetno postojan prema alkoholima, esterima, ketonima, eterima, mineralnim, životinjskim i biljnim uljima, a nepostojan je prema koncentriranim kiselinama i koncentriranim kloriranim ugljikovodicima, benzolu, benzinu, gorivu itd.

POLIIZOBUTILEN

Monomer:



Makromolekula:



Trgovačko ime:
opanol B (D), isolen (E), indopol (USA) vistaneks,

Tip: termoplast

Sirovine: nafta ili ugljen (sinteza benzina)

Dobivanje: polimerizacijom izobutilena u poliizobutilen, većinom pri niskim pritiscima i temperaturama. Promjenom uvjeta reakcije može se polimerizacija tako voditi da se dobivaju proizvodi s različitim molekularnim težinama od viskoznog ulja do materijala kvalitete sirove gume. Proizvodi mogu biti s punilom ili bez njega, a obično se dodaju kaučuk, polietilen i dr.

Primjena: za kemijske aparate, za izolaciju kabela, brtvila, za građevinske zaštitne folije, za oblaganje dijelova strojeva, za vagonske i automobilske pokrivače te za ljepila (niskomolekularna).

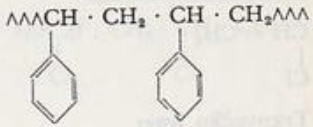
Tehnički podaci	Jedinice	PIB
1. Gustoća	g/cm³	0,93
2. Točka mekšanja	°C	otprilike 140
3. Točka raspadanja	°C	350—400
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	—100
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	23
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	60
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	5—10
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	
15. Zapaljivost		gori

Kemijska otpornost: otporan prema slabim i jakim kiselinama i lužinama, alkoholima, ketonima. Nepostojan prema kloriranim ugljikovodicima, esterima, eterima, benzolu, gorivima i uljima.

POLISTIROL
(Polistiren)

Monomer:

Makromolekula:



Trgovačko ime:
polistirol, trolitul, stirofleks (folije), stiropor (spužva) (D); distren (E), katalin, stiron (USA), lustron (I)

Tip: termoplast

Sirovine: ugljen ili zemni plin i nafta, etilen, benzol

Dobivanje: katalitičkim procesom iz benzola i etilena dobiva se preko etil-benzola monomer stirol, koji polimerizira u polistirol. Sirova masa dolazi u obliku granula, praha, folija, ploča, blokova, spužvi. Uobičajeni dodatak je sintetski kaučuk radi povišenja žilavosti. Poluproizvodi: ploče, folije, cijevi. Obrada toplim oblikovanjem, lijepljenjem, štrcanjem.

Primjena: za električna izolacijska sredstva, kućne potrepštine, kopče, češljeve, čaše, boce, telefonske aparate, za pakovanje itd.

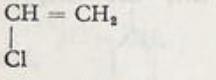
Tehnički podaci	Jedinice	PS
1. Gustoća	g/cm³	1,04—1,09 otprilike
2. Točka mekšanja	°C	80 (95—115)
3. Točka raspadanja	°C	250
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	60—80
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	0,13—0,14
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	70—92
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	25—50—65
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	450—700
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	450—1 200
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	700—1 300
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	30—40
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	1 100—1 300
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	0—20—75
15. Zapaljivost		gori

Kemijska otpornost: otporan prema slabim kiselinama i lužinama, alkoholima. Ostali tipovi polistirola, odnosno miješani polimerizati imaju različita svojstva u pogledu otpornosti.

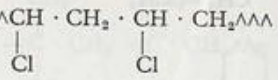
POLIVINIL-KLORID

Tvrdi

Monomer:



Makromolekula:



Trgovačko ime:

decelit—H, vinidur,
hostalit, ekadur (D); juvidur (Jugoslavija);
mipolam, PVC i mnogobrojna druga.

Tip: termoplast

Sirovine: ugljen, vapno-kalcijev karbid-acetilen-kuhinjska sol-klorovodik ili klor i etilen iz nafte, vinil-klorid

Dobivanje: polimerizacijom vinil-klorida u polivinil-klorid. Uobičajeni dodaci su stabilizator i male količine omekšivača. Poluproizvodi dolaze u obliku folija, ploča, blokova, štapova i cijevi. Obrađuju se zavarivanjem, lijepljenjem i toplim oblikovanjem.

Primjena: za vodovodne cijevi, za kemijske aparate, za oblaganje posuda i kada, za pakovanje, za ručke i druge dijelove, za izolacijske cijevi, profile, kašike i posude za kiseline, spojnice itd.

Tehnički podaci	Jedinice	PVC-tvrdi
1. Gustoća	g/cm³	1.38
2. Točka mekšanja	°C	60—80
3. Točka raspadanja	°C	160—180
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	otprilike —5°C
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	80
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	0,13
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	70
8. Otpornost prema električnom polju	kV/mm	50
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	450—600
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	800
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	1 200
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	30
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	1 000
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	20
15. Zapaljivost		teško gori

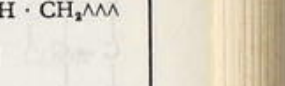
Kemijska otpornost: otporan prema jakim kiselinama i lužinama do 60°C. Neotporan prema organskim otapalima. Prema vodenim otopinama kiselina otporan je samo kratko iznad 40°C.

POLIVINIL-KLORID

Meki

Monomer:

Makromolekula:



Trgovačko ime:

ekalit, decelit-W., mipolam, vinilit, vinofleks,
vinol (D); Corvic (E); geon, koroseal (USA);
vestolit, hostalit, PVC, juvinil, juvifleks (Jugoslavija)

Sirovine: ugljen, vapno, voda, kalcijev karbid, acetilen, kuhinjska sol ili etilen iz nafte i klor-plinoviti vinil-klorid

Dobivanje: polimerizacijom vinil-klorida u polivinil-klorid. Sirova masa dolazi u obliku zrnate mase, granulata ili tekuće paste. Dodaci su obično omekšivači, stabilizatori, sredstva za podmazivanje (tzv. klizna sredstva).

Primjena: za proizvodnju transportnih traka, cijevi, čepova, obuće, za oblaganje podova i sl., za lopte, igračke, za pjenušave materijale, za ukrasne pokrivače i podloške, za spužvaste materijale, u građevinarstvu, za korozionu zaštitu itd.

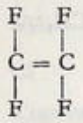
Tehnički podaci	Jedinice	PVC-meki
1. Gustoća	g/cm³	1,36—1,23
2. Točka mekšanja	°C	60
3. Točka raspadanja	°C	160—180
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	— 45 do 0°
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	200
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	0,13—0,15
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	20—50
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	250—80
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	0,380—0,03
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	
15. Zapaljivost		teško gori

Kemijska otpornost: meki PVC slabije je otporan od tvrdog PVC-a. Kako raste sadržaj omekšivača, tako opada postojanost prema koroziji.

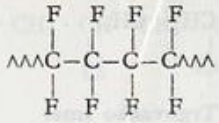
POLI-TETRA-FLUOR-ETILEN

(polifluor-carbone)

Monomer:



Makromolekula:



Trgovačko ime:
teflon, fluon (USA); hostaflon, heydeflon (D)

Sirovine: acetilen ili zemni plin, nafta (kloroform, fluorovodična kiselina), tetrafluor-etilen

Dobivanje: polimerizacijom monomera tetrafluor-etilena (plin!) do poli-tetra-fluor-etilena, pri visokim temperaturama i visokim pritiscima. Sirova masa dolazi kao bijeli prah ili kao disperzija. Poluproizvodi dolaze u obliku finih i grubih folija, ploča, profila i tankih cijevi. Obrada lijepljenjem nakon predobrade. Masa nije termoplastična pa se obraduje hladnim oblikovanjem.

Primjena: za visokovrijedne električne izolacije, za dijelove kemijskih aparata, za prevlake strojnih dijelova, za brtvila.

Tehnički podaci	Jedinice	PTFE
1. Gustoća	g/cm³	2,1—2,3
2. Točka mekšanja	°C	+ 320
3. Točka raspadanja	°C	+ 350
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	— 100
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	80—150
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	0,2
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	50
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	100—500
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	180—200
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	3,5—4
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	0,02
15. Zapaljivost		nije zapaljiv

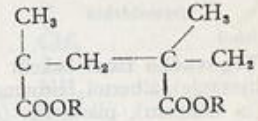
Kemijska otpornost: vodoodbojan je i otporan prema fluorovodičnoj, dušičnoj i solnoj kiselini te prema lužinama i organskim otapalima, čak pri temperaturi njihova vrelišta. Razlažu ga samo rastaljeni alkalni metali i fluor. Pri pritisku masa naginje curenju (hladan tok).

POLIMETAKRILAT

(Esterpolimetakrilne kiseline)

Monomer:

Makromolekula:



Trgovačko ime:
pleksiglas, piortal, piacril (D);
diakon, perspeks (E); lucit (USA)

Tip: termoplast

Sirovine: acetilen ili zemni plin, nafta-aceton, cijanovodična kiselina-cijanhidrin-ester metakrilne kiseline

Dobivanje: polimerizacijom estera metakrilne kiseline u polimetakrilat (poliester metakrilne kiseline). Sirova masa dolazi u obliku ploča, blokova, cijevi i štapova, zatim kao prah i granulat, kao vodena disperzija i otopina smole. Ne dodaju se nikakvi dodaci. Obrada toplim oblikovanjem, zavarivanjem i lijepljenjem.

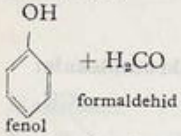
Primjena: u avionskoj i automobilskoj industriji (organsko staklo koje propušta i ultravioletne zrake), u medicini, u finoj mehanici i u optici, u radio-televizijskoj industriji, za gradnju strojeva i kemijskih aparata, učila, zubnih proteza i zubi, crtaćeg pribora, pribora za jelo, za premaze i lakove itd.

Tehnički podaci	Jedinice	PMMA (Pleksiglas)
1. Gustoća	g/cm³	1,18—1,19
2. Točka mekšanja	°C	
3. Točka raspadanja	°C	180
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	80
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	0,16
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	80
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	40
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	750—1000
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	1 200
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	1 100—1 750
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	30—45
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	1 700—1 800
14. Upijanje vode u četiri dana	mg/100 cm²	75—100
15. Zapaljivost		gori

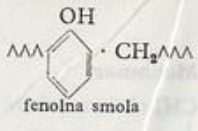
Kemijska otpornost: otporan je prema slabim i razrijeđenim kiselinama i lužinama, te amonijaku, benzinu, glicerinu, trafo-ulju, dok je nepostojan prema koncentriranim kiselinama i otapalima.

FENOLNE SMOLE

Monomer:



Makromolekula:



Trgovačko ime: bakelit (otvrdnjuća prešana masa), plastadur, dekorit (smola za lijevanje), albertol (sirovina za lakove), trolitan (sredstvo za impregnaciju), troliteks (sa tkanjem), plastateks (sa tkanjem) **Tip:** duroplast

Sirovine: katran-fenol ili krezol, formaldehid, punila (drveni prah, kameni prah, tekstilna vlakna, tekstilni odresci, pahuljice, azbest, staklena vuna itd.).

Dobivanje: kondenzacijom formaldehida s fenolom u prisutnosti katalizatora (amonijaka i dr.). Izgradnja makromolekula može se u određenoj fazi prekinuti. Tako razlikujemo ove proizvode:

1. REZOL = **bakelit A** — topiv u alkoholu, acetonu, eteru itd. Služi za proizvodnju kitova, lakova, materija za izolaciju i impregnaciju.
2. REZITOL = **bakelit B** — su krute, netopljive i netaljive tvari koje bubre u otapalima, a djelovanjem topline omekšavaju (talište 100—125°C) i postaju plastične.
3. REZIT = **bakelit C** — netopljiva masa dobivena na temperaturi od 160 do 180°C, ne bubri i ne mekša. Nije više plastičan ni termoplast. Zamjena za rog, slonovaču i jantar. Dolazi u obliku ploča, blokova, cijevi, štapova i oblikovanih predmeta.
4. NOVOLAK, ne otvrdnjuje, topljiv je i taljiv; dodatkom formaldehida otcijepljenom heksametilen-tetraminu prelazi u rezol, a zatim djelovanjem topline u 1—3. stupnju.

Primjena: u elektrotehnici, strojarstvu, građevinarstvu, za nakit i galanterijsku robu, za ručke (držala), dijelove medicinskih i kemijskih aparata.

Tehnički podaci	Jedinice	Fenolne smole	
		DEKORIT	BAKELIT prešan punilima
1. Gustoća	g/cm³	1,25—1,3	1,4
2. Točka mekšanja	°C		
3. Točka raspadanja	°C	160	150
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C		
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	60—125	10—50
6. Toplinska vodljivost	kcal/m·h·°C	0,24	0,25—0,27
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	40—80	>125
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	do 15	50—100
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	400—700	>250
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	600—1 400	1 400—2 000
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	650—1 000	700—800
12. Modul elastičnosti	kp/cm²(10^{-3})	20—35	40—80
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	1 900	1 300—1 800
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	15—300	180—500
15. Zapaljivost		gori teško, neugodno	ograničeno

Kemijska otpornost: dekorit je postojan prema razrijeđenim kiselinama, lužinama; prema alkoholu, benzinu, benzolu, eteru, mastima, uljima, esterima i ketonima uvjetno je postojan. Neotporan je prema jakim kiselinama i lužinama. Ako se **bakelitu** dodaju punila (npr. kameni prah), toplinska vodljivost i gustoća se povisuju, a upijanje vode, čvrstoća na savijanje i E-modul padaju.

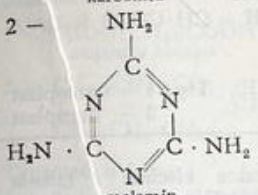
AMINOPLASTI

1 — Karbamidna smola 2 — Melaminska smola

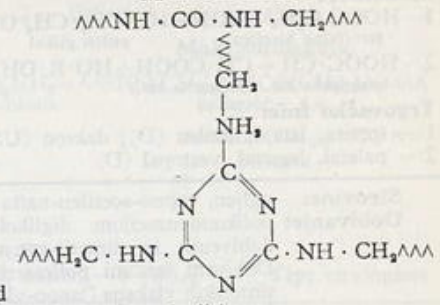
Monomer:

1 — $H_2N \cdot CO \cdot NH_2$ (karbamid) + HCHO (formaldehid)

2 —



Makromolekula:



Trgovačko ime: polopas (D); cibanoid (Švicarska); plastopal, kaurit-leim (D); uroform (Jugoslavija).
2 — ultrapas, resopal (D); melaform (Jugoslavija); meladur (DDR); Beetle (E); melopas (Švicarska) **Tip:** duroplast

Sirovine: 1) dušik iz zraka-karbamid (urea, mokraćevina) i formaldehid → → karbamidna smola
2) kalcijev cijanamid-melamin i formaldehid = melaminska smola.

Dobivanje: karbamidna i melaminska smola nastaju polikondenzacijom s formaldehidom. Dolaze u obliku tekućih ili čvrstih smola u komadima ili u prahu, u pločama, prešanjem oblikovanim predmetima, štapovima, profilima, u spužvastom stanju (»Piatherm«). Obrađuje se lijepljenjem epoksi-ljepilom i poliesterskim ljepilom. Zavarivanje nije uobičajeno. Masama se dodaju punila.

Primjena: karbamidne i melaminske mase primjenjuju se za oblikovane dijelove svih vrsta, za kućne potrepštine i tehničke predmete, dijelove za rasvjetu, za dekorativne svrhe, ventile, razne posude, za lakove i ljepila.

Tehnički podaci	Jedinice	Smole	
		karbamidne	melaminske
1. Gustoća	g/cm³	1,5	1,5
2. Točka mekšanja	°C		
3. Točka raspadanja	°C	160	160
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C		
5. Koeficijent linearnog toplin. rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	40—50	80
6. Toplinska vodljivost	kcal/m·h·°C	0,31	0,34
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	100	120
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	17	8—15
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	250	300
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	1 800	2 000
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	600	900
12. Modul elastičnosti	kp/cm²(10^{-3})	75	70
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	1 500	1 800
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	250	400
15. Zapaljivost		gori, neugodno	gori, neugodno

Kemijska otpornost: melaminske smole otporne su prema slabim lužinama, alkoholima, ketonima, esterima, benzinu, benzolu, gorivu, uljima, eteru i ugljikovodicima. Neotporne su prema jakim kiselinama i lužinama. Karbamidne smole manje su otporne od melaminskih smola.

POLIESTERSKE SMOLE

1 — zasićene 2 — nezasićene

Monomer: **Makromolekula:**

1 — $HOOC \cdot C_6H_4 \cdot COOH + HO \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot OH \rightarrow \wedge\wedge\wedge OC \cdot C_6H_4 \cdot COO \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot O \wedge\wedge\wedge$
tereftalna kiselina etilen glikol

2 — $HOOC \cdot CH = CH \cdot COOH + HO \cdot R \cdot OH \rightarrow \wedge\wedge\wedge CO \cdot CH = CH \cdot CO \cdot O \cdot R \cdot O \wedge\wedge\wedge$
maleinska kis. (fumarna kis.)

Trgovačko ime:

1 — trevira, lanon, diolen (D); dakron (USA); terilen (E). **Tip:** 1 — termoplast
2 — palatal, leguval, vestopal (D) 2 — duroplast

Sirovine: ugljen, vapno-acetilen-nafta

Dobivanje: polikondenzacijom diglikol-estera tereftalne kiseline i glikola dobivenih iz dimetil-estera tereftalne kiseline i etilen-glikola. Dobiveni lančani poliesteri su termoplasti i služe za dobivanje sintetskih vlakana (lanon-vlakna). Mrežasti poliesteri su duroplasti. Polikondenzacijom dvovaljanih alkohola i dikarbonskih kiselina nastaje nezasićena poliesterska smola. Ona se otapa u tekućini sposobnoj za polimerizaciju u kojoj prevladava stirol. Nezasićeni poliesteri dolaze obično na tržište u tekućem stanju, ali se mogu prevesti dodatkom punila u poluproizvode u obliku ploča, blokova, profila, štapova i sl. Poliesteri obuhvataju grupu ftalatnih smola, koje modificirane masnim kiselinama daju alkidne smole, zatim skupinu stiroliziranih alkidnih smola i skupinu maleinatnih smola.

Primjena: uz odgovarajuće dodatke kao punila (staklena vuna) katalizatora, otvrđivača i ubrzivača proširuje se područje primjene tih masa. Tako se mogu uspješno primijeniti za proizvodnju čamaca, automobilskih karoserija, kada za kupanje, za gradnju kranova, za električne izolacije, za izradu strojnih dijelova, tankova, rezervoara, kemijskih aparata, građevinskih elemenata, cijevi, profila i sl.

Tehnički podaci	Jedinice	Linearni poliesteri	Mrežasti poliesteri
1. Gustoća	g/cm³	1,2—1,4	1,2—1,27
2. Točka mekšanja	°C	130	100—150
3. Točka raspadanja	°C	150	> 150
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C		
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C		110
6. Toplinska vodljivost	kcal/m·h·°C		
7. Postojanost oblika po Martensu	°C		35—100
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm		≈23
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	600—1 000	450—800
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²		
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²		700—1 200
12. Modul elastičnosti	kp/cm²(10^{-3})		24
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²		
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	0,4	0,5—4,5
15. Zapaljivost		gori	gori

Koroziona otpornost: dobra postojanost prema slabim anorganskim kiselinama i slabim lužinama, alkoholima, esterima, alifatskim ugljikovodicima, vegetabilnim, animalnim i mineralnim uljima. Slaba postojanost prema jakim anorganskim i koncentriranim oksidirajućim kiselinama, jakim lužinama, ketonima, aromatskim ugljikovodicima.

POLIAMID

1 — Poliamid — 6,6 (nylon) 2 — Poliamid — 6 (perlon)

Monomer: **Makromolekula:**

1 — $HOOC(CH_2)_4COOH + H_2N(CH_2)_6NH_2 \rightarrow \wedge\wedge\wedge HN(CH_2)_6NHCO(CH_2)_4CO \wedge\wedge\wedge$
adipinska kiselina heksametilen diamin poliamid — 6,6

2 — $CH_2 \cdot CH_2 \cdot CO$ (NH kaprolaktam) $\rightarrow \wedge\wedge\wedge HN(CH_2)_5 \cdot CO \wedge\wedge\wedge$
$CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2$ poliamid — 6

Trgovačko ime:

1 — najlon — 6,6 (USA); ultramid — A (D)
2 — perlon, dederon, ultramid — B (D); najlon — 6 (USA) **Tip:** termoplast

Sirovina: ugljen, zemni plin ili nafta

Dobivanje: 1) polikondenzacijom adipinske kiseline s heksametilen-diaminom u poliamid — 6,6.

2) polimerizacijom kaprolaktama u poliamid — 6.

Sirova masa dolazi kao granulat ili prah. Dodaci se ne stavljaju. Poluproizvodi u obliku folija, cijevi, štapova, klipova i vlakana. Obrada toplim oblikovanjem, zavarivanjem i lijepljenjem.

Primjena: za elemente strojeva, zupčanike, protočne ventile, štitnike za ležaje, za kućišta aparata, za automobilske akumulatore, za pribor za jelo, za razno rublje (košulje i sl.), za tekstilna vlakna, za ambalažne folije itd.

Tehnički podaci	Jedinice	PA—(Nylon)
1. Gustoća	g/cm³	1,09—1,13
2. Točka mekšanja	°C	180—250
3. Točka raspadanja	°C	250
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	—20
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	110—130
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	0,21—0,29
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	do 65
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	19—24
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	400—800
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	do 1 100
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	200—1 000
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	3—16
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	500—800
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	400—1 000
15. Zapaljivost		gori

Kemijska otpornost: otporan je prema slabim lužinama, gotovo svim organskim otapalima, benzinu, ulju, mastima, dok je nepostojan prema kiselinama, jakim lužinama i ketonima.

SILIKONI
(Polisiloksani)

Monomer:

$R_2SiCl_2 + H_2O$
dialkil-silicium-diklorid

Makromolekula:

Trgovačko ime:

Bayer-silikon, silopren (silikon-kaučuk) (D);
silastik, Ge-silikon rubber (USA); rodorsil (smola) (Fr.);
silastomer (E); silonit (Mad.)

Tip: duroplast

Sirovine: kremeni pijesak, ugljen, klor-silicij, tetra-klorid

Dobivanje: dialkil-silicij-diklorid se direktno vodom ili vodenim organskim otapalima podvrgava hidrolizi, pri čemu nastali silanol u toplini stvara, odmah polikondenzate. Tekući silikoni izgrađeni su od lančanih ili prstenastih molekula, dok elastični, plastični i smolasti silikoni imaju kompliciranu strukturu. Razlikujemo silikonsko ulje i mazivo, silikonsku gumu, silikonsku pastu, silikonsku disperziju i u vodi topljivi silikonat.

Primjena: za visokovrijedne elektroizolacijske i korozivne otporne lakove, za zaštitu premaza u kemijskoj industriji, jer izdrže temperaturu do 200°C i više (silikonska ulja ne mijenjaju znatno svoj viskozitet u temperaturnom području od − 60 do + 300°C), zatim kao sredstvo protiv pjenjenja (silikonske disperzije!), kao mazivo, kao hidraulična ulja.

Tehnički podaci	Jedinice	Silikonska smola
1. Gustoća	g/cm³	1,2 – 1,4
2. Točka raspadanja	°C	oko 300
3. Postojanost na temperaturi (dugotrajno)	°C	170 – 180
4. Otpornost prema električnom proboju (za silikonski lak bez punila)	kV/mm	do 70
5. Postojanost na temperaturi (za silikonska ulja)	°C	60 – 300
6. Zapaljivost		teško gori, gori samo u vrućem plamenu

Koroziona otpornost: silikoni su odlično postojani prema slabim anorganskim kiselinama te slabim i jakim lužinama, alkoholima, alifatskim i aromatskim ugljikovodicima, mineralima, vegetabilnim i životinjskim uljima, dok su nepostojani prema koncentriranim oksidirajućim kiselinama i ketonima. Osrednja do dobra postojanost prema jakim kiselinama.

POLIURETANI

Monomer:

O=C=N·R·N=C=O + HO·R′·OH
diizocijanat dihidroksi-spoj

Makromolekula:

ΛΛΛOC·NH·R·NH·CO·O·R′·OΛΛΛ

Trgovačko ime:

igamid U, perlon U, polistal, moltopren (D);
urilon (J); utazijan, desmodur, utagen, desmofen, dutan (E);
Chemigum Sl., estane, viren (USA)

Tip: duroplast

Sirovine: ugljen, vapno-acetilen-butindiol-butandiol ili diizocijanati i alkoholi

Dobivanje: poliadicijom diizocijanata sa spojevima koji sadržavaju hidroksilne skupine ili s dvovaljanim alkoholima. Proizvodi: vlakna, folije, čvrste tvari, prah, gumielastične tvari, pjenaste (spužvaste) tvari, lakovi, ljepila. Dolaze i kao ploče, blokovi, profili. Mrežasti proizvodi su duroplasti, linearni poliuretani su termoplasti.

Primjena: za meke i tvrde pjenaste (spužvaste) tvari (moltopren), kao sirovina za proizvodnju lakova, za proizvodnju umjetne kože i ljepila, a posebno za ljepila za metale, za izgradnju aparata, za brtvila itd.

Tehnički podaci	Jedinice	PU-linearni	PU-mrežasti
1. Gustoća	g/cm³	1,2 – 1,215	1,26
2. Točka mekšanja	°C	<100	preko 100
3. Točka raspadanja	°C	iznad 150	iznad 150
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C		
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	105 – 150	110 – 220
6. Toplinska vodljivost	kcal/m·h·°C	0,24 – 0,27	0,28
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	do 45	45
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	do 20	20
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	440 – 600	450 – 500
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	300 – 900	
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	200	
12. Modul elastičnosti	kp/cm²(10^{-3})	3,3 – 8,5	
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	700	700
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	100 – 250	100
15. Zapaljivost		ograničena	ograničena

Kemijska otpornost: postojan prema slabim kiselinama, slabim i koncentriranim lužinama, esterima, benzolu, benzinu, gorivima, mineralima, životinjskim i biljnim uljima.

EPOKSI-SMOLE

(Etoksilinske smole)

Monomer:

$ClCH_2 \cdot CH{-}CH_2 + HO \cdot R \cdot OH$

epiklorhidrin

Makromolekula:

$\wedge\wedge\wedge CH_2 \cdot CH \cdot CH_2 \cdot O \cdot R \cdot O \wedge\wedge\wedge$

OH

Trgovačko ime:

araldit (Švic.); epiloks (D); epikote (E); scurol (F); devran, epon (USA)

Tip: duroplast

Sirovine: ugljen, vapno-acetilen-epiklorhidrin, fenol

Dobivanje: poliadicijom (polikondenzacijom), hidroksilnih spojeva, odnosno amino-spojeva na oksidni prsten epiklor-hidrina. Uobičajeni dodaci: druge otvrđujuće umjetne smole. Epoksi-smole dolaze na tržište kao smole za lijevanje, lijepljenje i spajanje. Razlikujemo »hladne otvrđivače« i »tople otvrđivače«. Dolaze u obliku paste, masa, praha, štapića i folija. Isporučuju se hladno otvrđujuće smole, odvojeno od otvrđivača nasuprot toplo otvrđujućim smolama kod kojih je otvrđivač obično primiješan smoli.

Primjena: za elastične lakove otporne prema kemikalijama, za visokovrijedna ljepila za metale, za električne izolacije, kao kiseli kit za kemijske aparature, u PVC-smjesama kao stabilizator za pumpe za kiseline.

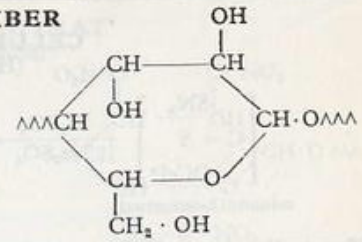
Tehnički podaci	Jedinice	Araldit B	Araldit D
1. Gustoća	g/cm³	1,2–1,3	1,15–1,2
2. Točka mekšanja	°C	nije termoplast	nije termoplast
3. Točka raspadanja	°C	200	200
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C		
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	60–65	90–95
6. Toplinska vodljivost	kcal/m·h·°C	0,17	0,19
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	110	50–60
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	15–63	15–63
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	500–800	550–800
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²		
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	1 100–1 300	900–1 100
12. Modul elastičnosti	kp/cm²(10^{-3})	30–40	30–40
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²		
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	0,1–0,14	0,3–0,5
15. Zapaljivost			gori

Kemijska otpornost: otporne su prema kiselinama i lužinama. Neotporne su općenito prema organskim otapalima, ketonima, etilacetatu, nitro-benzolu, triklor-etilenu.

VULKAN-FIBER

$(C_6H_{10}O_5)_x$

celuloza



Trgovačko ime:

dinos, dinopas, kotonid, Lederstein, leatheroid, hornex, trovulkan (neslojeviti), gesalit, (slojevit s anilinskom smolom)

Tip: nije termoplast

Sirovine drvo ili druge celulozne tvari — celuloza, cinkov klorid ili sumporna kiselina

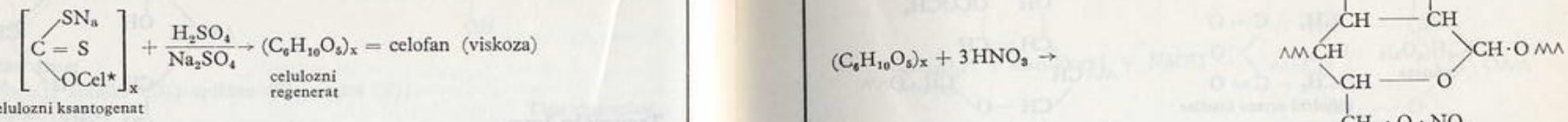
Dobivanje: vulkan-fiber je najstarija umjetna masa (1855. g.). Dobiva se obradom (pergamentiranjem) papira (celuloze) toplom otprilike 70%-tnom otopinom cinkovog klorida (rjede koncentriranom sumpornom kiselinom), pri čemu nastaje bubrenje vlakana na površini kojih 0,5 mm i promjena strukturnog stanja. Nastaje ljepljiva supstancija. Poslije prešanja odstranjuje se suvišna otopina cinkovog klorida. Obrada se izvodi raspanjem, rezanjem, bušenjem, brušenjem, glodanjem, struganjem itd. Tanki materijali mogu se oblikovati tlačenjem i izvlačenjem. Dolazi u obliku folija, ploča ili spužvastih tvari, cijevi, štapova.

Primjena: u tekstilnoj, automobilskoj i elektroindustriji za prstenove, brtvljenje, obloge spojnica, blokove kočnica, ručke, dijelove tekstilnih strojeva i zupčanike i kao izolacijski materijal za slabu struju.

Tehnički podaci	Jedinice	Vulkanfiber
1. Specifična težina	g/cm³	1,05–1,45
2. Postojanost na temperaturu	°C	70–90
3. Točka raspadanja	°C	oko 150
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	25
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	0,26
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	100–120
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	1–8
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	400–1 250
10. Čvrstoća na tlak	kg/cm²	3000 tehnički Vul.
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	1 600–2 200
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	40–75
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	400–1 500
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	6 000–14 000
15. Zapaljivost		vrlo ograničena

Kemijska otpornost: otporan prema benzinu, benzolu, alkoholu i esteru, slaboj kiselini i slaboj lužini, a neotporan prema jakoj lužini i jakoj kiselini.

CELULOZNI HIDRAT
(Hidrat celuloze)



Trgovačko ime: Zellglas, celofan, Wilaphan, Zellwolle, Viskoseseide (viskozna svila) vistra (folije), lanusa (vlakna)

* Cel = $(C_6H_9O_4)$ **Tip:** nije termoplast

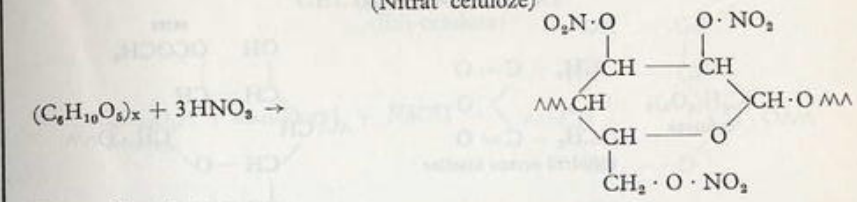
Sirovine: drvo i druge celulozne tvari, celuloza i natrijeva lužina i ugljični disulfid

Dobivanje: za različite proizvode od celuloznog hidrata primjenju se različiti postupci dobivanja (viskozni postupak ili viskozni bakreni oksid-amonijak postupak). Proizvodi dolaze u obliku tankih folija 0,015—0,5, folijskih cijevi, vlakana i spužvi. Vlakna su glatka kao svila; spužve su u suhom stanju tvrde i slične koži, a u mokrom stanju su mekane. Obrada lijepljenjem i vrućim pečaćenjem.

Primjena: celulozni hidrat ne primjenjuje se kao konstrukcioni materijal. Primjenjuje se za pakovanje prehrambenih i drugih proizvoda, odjevnih predmeta i sl. Služi u elektrotehnici.

Tehnički podaci	Jedinice	CH celofan
1. Gustoća	g/cm³	1,52—1,62
2. Točka mekšanja	°C	ne omekšava
3. Točka raspadanja	°C	120
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	—5
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	3—5
6. Propustljivost vodene pare u toku 14 sati		
a) kvalitete otporne prema vremenu («Wetterfest»)	mg/m²	8—180
b) normalna kvaliteta	mg/m²	1 000
7. Čvrstoća na vlak a) po dužini	kp/cm²	760
b) po širini	kp/cm²	460
8. Rastezanje a) po dužini	%	18—20
b) po širini	%	30—40
9. Broj savijanja		12 000
10. Električna svojstva		loša
11. Kemijska svojstva		umjerena (srednja)
12. Zapaljivost		lako upaljiv u plamenu

CELULOZNI NITRAT
(Nitrat celuloze)



Trgovačko ime:
celuloid, fotofilm, nitrolak, Zaponlack, Chardonnetseide (umjetna svila)
Kollodiumwolle (kolodijum-vuna) **Tip:** termoplast

Sirovine: drvo i druge celulozne tvari-celuloza, dušična i sumporna kiselina.

Dobivanje: obradom esterifikacijom celuloze iz pamuka i drveta sa smjesom koncentrirane dušične i sumporne kiseline te vode, do stvaranja celuloznog nitrata, za koji se upotrebljava i loše ime nitroceluloza. Prema različitom sadržaju dušika dijelimo je na razne tipove. S visokim sadržajem dušika je tzv. kolodijum-pamuk (eksploziv!). Uobičajeni dodaci su stabilizatori i omekšivači. Čvrsti proizvodi (celuloid), filmovi, premazi (nitro-lakovi). Dolaze u obliku ploča, cijevi, štapova i blokova iz celuloida. Oblikuju se toplo i lijepljenjem.

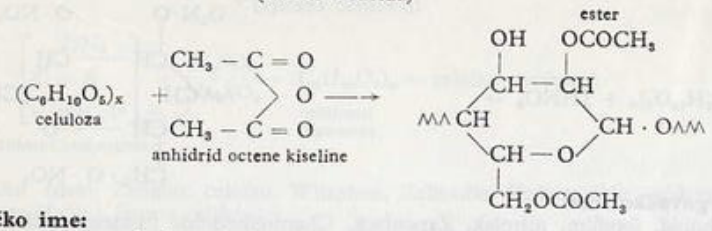
Primjena: za muzičke instrumente, filmove, galanterijsku robu, tehničke artikle, igračke, s kamforom kod omekšivača za celuloid, kao sirovina za lakove, ljepila i mase za umjetnu kožu.

Tehnički podaci	Jedinice	CN Celulozni nitrat
1. Gustoća	g/cm³	1,35
2. Točka mekšanja	°C	60
3. Točka raspadanja	°C	160
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	—10
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	101
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	0,2
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	58
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	10
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	600—700
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	635
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	600
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	25
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	650
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	200
15. Zapaljivost		lako gori zapaljiv

Kemijska otpornost: postojanost prema koroziji razmjerno je niska. Ograničeno je postojan prema razrijeđenim kiselinama i lužinama, gorivu, mazivima, uljima i mastima. Nije otporan prema jakim kiselinama. Topljiv je u eteru i alkoholu.

CELULOZNI ACETAT

(Acetil-celuloza)



Trgovačko ime:
celon, celit, celidor, ekarit, ultrafan (D); ekaron, lumarit (USA); acetofan (Belg.); rodanit (F); beksoid (E)

Tip: termoplast

Sirovine: drvo ili celulozne materije, celuloza, octena kiselina i anhidrid octene kiseline

Dobivanje: djelovanjem smjese octene kiseline i anhidrida octene kiseline (acetiliranjem) na celulozu pri nižim temperaturama u prisutnosti katalizatora (npr. malo sumporne kiseline, odnosno cinkovog klorida ili kiselih soli) nastaje otcjepljenjem molekula vode celulozni acetat. Dolazi u obliku folija, ploča, profila, čekinja, filmova i masa. Oblikovanje na temperaturi do 100°C. Otapalo za ljepilo je aceton.

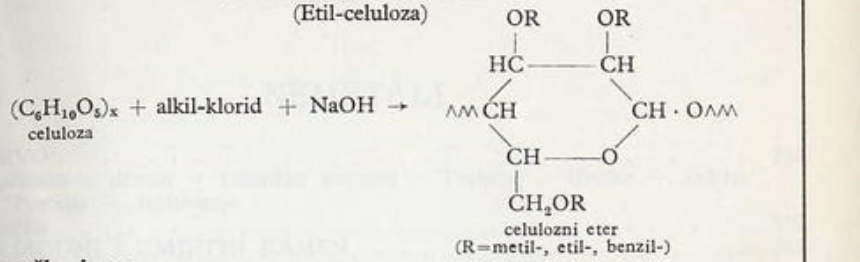
Primjena: za foto-filmove (jer teško gori), za pakiranje u mašinskoj industriji, u industriji alata, u grafičkoj industriji lakova, za oblaganje.

Tehnički podaci	Jedinice	CA celulozni acetat
1. Gustoća	g/cm³	1,3 — 1,35
2. Točka mekšanja	°C	60
3. Točka raspadanja	°C	cca 160
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	−20
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	100 — 92
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	$18 - 22 \cdot 10^{-2}$
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	33 — 58
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	25 — 32
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	220 — 500
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	550
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	600
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	9 — 15
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	33 — 140
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	1 000 — 1 150
15. Zapaljivost		ograničena, teško se rasplamsava

Kemijska otpornost: postojan prema benzinu, benzolu i slabim kiselinama, nepostojan prema jakim kiselinama i jakim lužinama. Celulozni acetat topljiv je u acetonu i esterima.

CELULOZNI ETERI

(Etil-celuloza)



Trgovačko ime:
trolit (etil-celuloza), tiloza (u vodi topljivi celulozni eter), glutofiks (metil-celuloza) (D)

Tip: termoplast (ograničeno)

Sirovine: drvo ili druge celulozne tvari, celuloza i različiti alkoholi

Dobivanje: celulozni derivati, u kojima je H u slobodnim hidroksilnim skupinama celuloze djelomično ili potpuno preveden u eter (npr. metil skupina CH_3-, etil-grupa C_2H_5-). Celuloza se prethodno koncentriranom natrijevom lužinom, NaOH, kod 30 — 40°C prevodi u natron-celulozu, koja se u vlažnom stanju sitni i odgovarajućim sredstvom prevodi u etere. Pretežno dolazi kao masa za brizganje i uranjavanje te kao folije, profili i oblikovani dijelovi. Obrada lijepljenjem i zavarivanjem.

Primjena: u vodi netopljivi etil-eter služi u ograničenom opsegu kao termoplast. Služi za brtvljenje, savitljive cijevi i kao lak za izolaciju kabela. U vodi topljiv eter koji dolazi pod trgovačkim imenom »tiloza« služi namjesto škroba, dekstrina, želatine itd. Kao sredstvo za emulgiranje, za odebljanje, kao ljepilo pri proizvodnji cigareta, za okvire za naočale, za specijalne žlice i pribor.

Tehnički podaci	Jedinice	Celulozni eter
1. Gustoća	g/cm³	1,12 — 1,15
2. Točka mekšanja	°C	+60
3. Točka raspadanja	°C	180
4. Točka krhkosti (lomljivosti)	°C	−50
5. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja	$\alpha \cdot 10^{-6}$/°C	80 — 100
6. Toplinska vodljivost	kcal/m · h · °C	$17 - 20 \cdot 10^{-2}$
7. Postojanost oblika po Martensu	°C	45 — 50
8. Otpornost prema električnom proboju	kV/mm	20 — 40
9. Čvrstoća na vlak	kp/cm²	250 — 390
10. Čvrstoća na tlak	kp/cm²	200 — 600
11. Čvrstoća na savijanje	kp/cm²	300 — 700
12. Modul elastičnosti	kp/cm² (10^{-3})	10 — 15
13. Tvrdoća (kuglica 60″)	kp/cm²	450 — 620
14. Upijanje vode u sedam dana	mg/100 cm²	120 — 500
15. Zapaljivost		gori

Kemijska otpornost: postojan prema slabim kiselinama i lužinama. Nepostojan prema benzolu, esterima, jakim kiselinama i lužinama.

DEFTERDAROVIĆ Nafis, dipl. inženjer kemije

NEMETALI

14.01 DRVO 348
Općenito o drvetu — Tehnička svojstva — Trajnost — Greške — Zaštita — Prerada — Ispitivanje
14.02 Ljepila 359
14.03 PRIRODNI I UMJETNI KAMEN 362
Vrste i svojstva — Obrada — Umjetno kamenje — Vatrostalni materijali
Gline — Keramički proizvodi — Pečena opeka
14.04 VEZIVA 376
Ilovača — Vapno — Gips ili sadra — Magnezija — cement — Hidraulična vapna — Cementi — Ispitivanje veziva
14.05 MORTOVI (MALTERI) 381
Svojstva — Vrste
14.06 BETON 383
Vrste — Svojstva — Korozija
14.07 STAKLO 386
Vrste — Sigurnosno staklo — Dobivanje — Bojenje
14.08 KOŽA 389
Anatomija — Završna obrada — Umjetna koža
14.09 KAUČUK — GUMA 390
Prirodni kaučuk — Sirovi kaučuk — Vulkaniziranje — Vrste guma — proizvodi prirodnog kaučuka — Kaučuku slične sirovine — Umjetni kaučuk
14.10 PAPIR 393
Vrste — Ispitivanje
14.11 TEKSTILNA I MINERALNA VLAKNA 397
Tekstilna vlakna — Mineralna vlakna
14.12 BOJE I LAKOVI 398
Vezivo — Pigment — Otapala — Omekšivači — Ostale boje i primjena
14.13 SREDSTVA ZA BRUŠENJE (ABRAZIVI) 404
Prirodna sredstva — Umjetni materijali — Brusna sredstva u primjeni
14.14 OSTALI NEMETALNI MATERIJALI 407
Pluto — Čada — Katran — Bitumen — Asfalt — Krovna ljepenka — Kitovi
14.15 EKSPLOZIVI 410
Vrste — Pojedini eksplozivi

Literatura:

1 — *Arsenijević M.:* Prirodna i veštačka tekstilna vlakna, Zavod za izdavanje udžbenika Srbije, Beograd 1961.
2 — *Esih I.:* Površinska zaštita, skripta VTŠ, Zagreb 1961.
3 — *Marić L.:* Sistematska petrografija, Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb 1945.
4 — *Ost H.—Rassow B.:* Udžbenik kemijske tehnologije I i II, Prijevod s njemačkog, Naučna knjiga, Beograd 1952. i 1953.
5 — *Radić I.:* Nemetali, skripta VTŠ, Zagreb 1961.
6 — *Sabioncello P.:* Poznavanje materijala, skripta, Sveučilišna litografija, Zagreb 1950.
7 — *Sokolović A.:* Sadra, Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb 1948.
8 — *Ugrenović A.:* Tehnologija drveta, Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb 1950.
9 — *Ugrenović A.:* Kemijsko iskorišćavanje i konzerviranje drveta, Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb 1947.

14 NEMETALI

14.01 DRVO

14.011 OPĆENITO O DRVETU

Drvo je prirodan konstruktivni materijal koji se primjenjuje u:

1 — neobrađenom stanju i
2 — u mehanički obrađenom stanju (tesanjem, cijepanjem, piljenjem, blanjanjem, tokarenjem, mljevenjem, spajanjem, tlačenjem, itd.).

Osim toga ono se prerađuje kemijskim putem (ekstrakcijom, suhom destilacijom, koksovanjem, švelanjem, kemijskom razgradnjom, hidrolizom itd.).

Kao gorivo i tehnički materijal drvo se nastoji zamijeniti drugim materijalima, ali se još uvijek u velikoj mjeri upotrebljava u građevinarstvu, industriji, brodogradnji, rudarstvu, poljoprivredi, šumarstvu, zanatstvu i u kućanstvu.

Kemijskom obradom drveta (oko 15% od ukupne proizvodnje drveta) dobivaju se proizvodi koji imaju široku primjenu, npr.

— štavila (tanin) za kožarsku industriju
— smole (terpentin, kolofonij) koje služe pri proizvodnji umjetnih tvari, lakova, sikativa itd.
— drveni ugljen koji se upotrebljava u metalurgiji, za proizvodnju elektroda, crnog baruta, kao apsorbens i dekolorans itd.
— octena kiselina za potrebe kemijske i prehrambene industrije, u galvanizaciji, za bojenje
— drvni katran za proizvodnju kreozota, teških drvnih ulja s visokim vrelištem
— drvni plin kao gorivo
— celuloza za proizvodnju papira, umjetnih tvari, umjetnih vlakana, eksploziva
— drvni šećer, metilni alkohol
— lignin kao prirodno vezivo za proizvode od prešanog drveta, kao korozivni inhibitor u ljepilima i premazima.

Drvo dijelimo na tri osnovne vrste:

1 — na lišćare (drvo bjelogorice),
2 — na četinare (drvo crnogorice) i
3 — na strana (egzotična) finija drva.

Tvrdi lišćari jesu: hrast, bukva, cer, brijest, grab, jasen, javor, orah, bagrem, klen, trešnja, kruška, dud, ljeska itd.

Meki lišćari jesu: breza, lipa, topola, joha, divlji kesten, vrba itd.

Četinari su: ariš, bor, jela, smreka, (smrča), tisa, čempres itd.

Egzotična drva jesu: mahagoni (tamnocrveno drvo), cedar (crvenkasto), abonos (crno), palisandar (mrko), atlas (blijedožuto) itd.

14.011.1 Makroskopski izgled unutrašnje građe drveta

Pod drvetom se razumijeva stablo (deblo), grana i korijen nakon skidanja kore. Po svojoj unutrašnjoj građi, drvo nije homogeno. To se može utvrditi i prostim okom na presjeku stabla.

Presjek stabla može biti:

1 — poprečan (okomit na dulju os stabla)
2 — radijalan (po duljoj osi i promjeru)
3 — tangencijalan (paralelan s duljom osi).

Na poprečnom presjeku stabla vidimo mrtvu koru, živu koru, bijel (beljikovinu), srž (duramen), tamnije obojenu, godove (manje-više koncentrično prstenje) i srce (srčevinu). Godovi nastaju uslijed gubitka lišća i poremećaja u ishrani i u vezi su sa starošću drveta (ali ne uvijek, ovisno o klimatskim uvjetima, tj. o onima bez većih promjena temperature). Između žive kore i mase drveta nalazi se biljno tkivo, tzv. kambij.

Na radijalnom presjeku stabla godovi se vide kao uzdužne pruge paralelne sa srcem, a okomito na njih pružaju se sržni trakovi od srca prema kori.

Na tangencionalnom presjeku stabla, koji presijeca godove, vide se godovi kao uzdužne pruge ili kao osjenčene šare. To ovisi o udaljenosti presjeka od srca, kao i o tome da li je presjek izvršen na ravnom ili krivom drvetu, s manje ili s više kvrgica, čvorića i sl.

14.011.2 Unutarnja građa drveta

Mikroskopskim promatranjem pri povećanju od 50 do 200 puta možemo ustanoviti da je drvo izgrađeno od dugoljastih, prugastih debelostijenih elementarnih ćelija (stanica) od kojih jedne daju drvetu čvrstoću i jakost, a druge ishranu.

Strukturu drveta čine:

1 — Drvna vlakanca. To su debelostijene sklerenhimske stanice, koje daju mehaničku čvrstoću drvenoj tvari, a osnovne su tvari drveta lišćara.

2 — Sudovi ili traheje služe za dovod sokova u drvo. Veličina, broj i način grupiranja sudova (u obliku prstena ili razbacani) utječu na ishranu drveta i njegova tehnička svojstva. Mnogo sudova s velikim otvorima čini lako i meko drvo koje se lakše impregnira i suši, malo sudova s malim otvorima i debelim stijenama čini teško i tvrdo drvo, koje se teško impregnira i suši.

3 — Traheide su dugoljaste stanice slične vlakancima (sklerenhimskim stanicama), i trahejama, ali s užim otvorima. One imaju mehaničku i fiziološku funkciju, a dolaze pretežno od četinara, pa je uslijed svoje veće duljine od traheja i vlakanaca lišćara drvo četinara pogodnije za proizvodnju papira.

4 — Sržni trakovi su stanice koje idu od srca prema površini, tj. okomito na dulju os stabla, pa se zapažaju na poprečnom presjeku. Sržni trakovi imaju fiziološku funkciju, provode vodu i organske tvari. Smješteni su između ostalih elemenata te s njima nemaju tako čvrste veze kao što je drvna vlakna imaju međusobno. Zbog toga je na tim mjestima smanjena kohezija, a time povećana cjepljivost drveta.

5 — Parenhim se sastoji od stanica s tankim stijenama koje imaju isključivo fiziološku funkciju, tj. provođenje organskih tvari i akumuliranje rezervne hrane (škrob, albuminoidi i dr.), sve do procesa osržavanja. Razlikujemo drvni parenhim (stanice nanizane u uzdužnom smjeru) i parenhim trakova (stanice poredane u radijalnom smjeru). Parenhim trakova je glavni sastavni dio sržnih trakova.

6 — Smolni kanali ili smolnjaci (smolenice), tj. šupljine u stanicama, u koje okolne stanice izlučuju smolu. Prostiru se u uzdužnom ili radijalnom smjeru, a obilno ih ima u drvetu bora, smreke, ariša i dr. Kod ozlijeđenog drveta povećava se broj kanala i na tome se temelji postupak smolarenja na živom drvetu, pa se mogu razviti smoljnjaci i kod onih četinara kod kojih se redovito ne javljaju, kao — na primjer — kod jele.

14.011.3 Kemijski sastav drveta

Kemizam drveta ima znatan utjecaj na njegova tehnička svojstva.

Svježe oboreno, zeleno drvo sadržava 40–60% vode. Kod drva sušenog na uzduhu snizuje se sadržaj vode na 10–20%. Elementarni sastav potpuno suhog drva bilo koje vrste približno je jednak te sadržava:

	otprilike
ugljika, C	50%
vodika, H	6%
kisika, O	43%
dušika, N	0,3%
pepela	0,5%.

Najvažnije kemijske sastojine drveta jesu: celuloza, hemiceluloza i lignin, zatim smole, eterična ulja, proteini, tanin, mineralne tvari, voda i dr.

Celuloza $(C_6H_{10}O_5)_n$ polisaharid (višestruki šećer), koji čini osnovnu tvar drveta, zapravo skelet stijenki stanica. Vlaknasta (lančana) molekula celuloze sastavljena je od 200 do 3 000 molekula glukoze (šećera). Celuloza je glavna gorivā tvar u drvetu. Njene vlaknaste molekule povezane su u paralelne snopove, koji se nazivāju miceli ili kristaliti. Ovi su poredani u redove u kojima su vlaknate molekule po duljini međusobno povezane u spletove — fibrile.

Hemiceluloza je skupna oznaka za različite polisaharide koji se nalaze u stijenkama stanica, a dijele se na pentozane i heksozane. Slabo su otporni prema alkalijama, a njihovom hidrolitičkom razgradnjom nastaju ksiloza, arabinoza i drugi monosaharidi: glukoza, manoza, galaktoza.

Lignin ima kompliciran kemijski sastav, a pripada benzolovim derivatima. U vodi i kiselinama je netopljiv. Lignin je po postanku najmlađa sastojina drveta koja ima funkciju učvršćenja i odrvenjenja stijenki stanica te čini skelet za celulozu.

Elementarni sastav navedenih sastojina izgleda ovako:

	% C	% O	% H
celuloza	44,4	49,4	6,2
pentozan	45,4	48,5	6,1
lignin	62,7	31	6,3.

14.012 TEHNIČKA SVOJSTVA DRVETA

U tehnička svojstva drveta ubrajamo:

1 — estetska svojstva (to su boja, sjaj, miris, tekstura i finoća)
2 — mehanička svojstva (tvrdoća, čvrstoća na tlak, čvrstoća na vlak, čvrstoća na savijanje, elastičnost, žilavost itd.)
3 — fizikalna svojstva (težina, vlažnost, bubrenje i skupljanje, zvučna, električna i toplinska vodljivost, propuštanje svjetlosti)
4 — fizikalno-kemijska svojstva (trajnost, kalorična vrijednost itd.).

14.012.1 Estetska svojstva drveta

Boja drveta ovisna je o vrsti, o unutarnjoj građi, o kemijskim, fiziološkim i patološkim promjenama, o utjecaju vanjskih faktora, sunca, vlage, zraka i alata za preradu. Ona ima ulogu pri izradi namještaja s obzirom na estetske zahtjeve. Boja domaćeg drveta je bjelkasta do mrka, dok egzotično drvo ima življe tonove. Po boji drveta možemo prosuditi da li je ono zdravo ili trulo.

Sjaj ovisi o vrsti drveta i o njegovoj obradi. Kruška, topola i glog nemaju sjaja; grab, šljiva, trešnja imaju slab sjaj. Jači sjaj imaju bukva, platan itd., dok se egzotično drvo ističe najjačim sjajem.

Miris drveta potječe od esterskih ulja, a karakterističan je za svaku vrstu drveta. Intenzitet mirisa ovisi o količini ulja, o isparnoj površini i o temperaturi.

Tekstura (šare) drveta ovisi o vrsti, o anatomskoj građi, o obliku stabla, o čvorovima i kvrgama drveta.

Poprečni, radijalan i tangencijalan presjek stabla imaju različite i karakteristične teksture. Pri ljuštenju drveta za furnire dobivaju se razne teksture. Osim toga postoji tekstura slična svilenoj tkanini (franc. moire) ako se drvo ljušti s ekscentričnim srcem, zatim kuglasta tekstura s koncentričnim krugovima i, najzad, nepravilna tekstura.

Brinellove tvrdoće važnijih vrsta drveta sušenog na uzduhu sa otprilike 15 % vlage

Tablica 1.

Vrsta drveta	Stupanj tvrdoće	Brinellova tvrdoća u kp/mm²	
		U smjeru paralelnom s vlakancima	U smjeru okomitom na vlakanca
Vrba Lipa Topola	vrlo mekano	1–4	0,5–2
Jela Smreka Bor Joha Breza	mekano	2–6	1–3
Orah Kruška Kesten pitomi Hrast Bukva Jasen Platan Šljiva Brijest Bagrem	srednje tvrdo	4–6,5	2–4
Grab Tisovina Trešnja Šipak	tvrdo	6–10	3–6
Zimzelen (šimšir)	vrlo tvrdo	10–13	5–8
Ebanovina	tvrdo kao kost	12–20	7–14

Gustoća (specifična masa) važnijih vrsta drveta

Tablica 2.

Vrsta drveta	Gustoća u g/cm³	
	sirovog	na uzduhu sušenog sa 15% vlage
Ariš	0,81	0,47—0,56
Bor	0,38—1,08	0,31—0,76
Breza	0,80—1,09	0,51—0,77
Bukva	0,85—1,12	0,66—0,83
Brijest	0,78—1,18	0,56—0,82
Cedar	—	0,57
Ebanovina	—	1,26
Grab	0,92—1,25	0,62—0,82
Hrast	0,93—1,28	0,63—1,03
Jasen	0,70—1,14	0,57—0,94
Javor	0,83—1,05	0,53—0,81
Jela	0,77—1,23	0,37—0,75
Joha	0,63—1,01	0,42—0,58
Kesten divlji	—	0,58
Kruška	0,96—1,07	0,61—0,73
Lipa	0,58—0,87	0,32—0,59
Orah	0,91—0,92	0,60—0,81
Smreka	0,40—1,07	0,35—0,60
Topola	0,61—1,07	0,39—0,59
Trešnja	1,05—1,18	0,76—0,84
Vrba	0,79	0,49—0,59
Zimzelen (šimšir)	1,20—1,26	0,91—1,16

Finoća drveta je to izrazitija što je drvo homogenije građe i što su manje razlike u veličini, obliku, boji i jakosti između samih elemenata građe.

Vrlo fina drva jesu: zimzelen, tisovina i mahagoni.

Fina drva su: orah, grab i divlji kesten.
Polufina drva su: joha, breza, lipa i bukva.
Gruba drva su: hrast, brijest i kesten.

14.012.2 Mehanička, fizikalna i fizikalno-kemijska svojstva drveta

Tvrdoća ovisi o anatomskoj građi, kemijskom sastavu i sadržaju vlage. Što je veća količina suhe tvari u određenom volumenu drveta, to je veća težina, a time i tvrdoća.

Za rezbarske radove traži se meko drvo (lipa, joha), za tokarenje tvrdo drvo, za stolarske radove mekše itd.

Gustoća (specifična masa) ili prostorna težina ovisi o vrsti drveta, o ekološkim faktorima, o načinu uzgoja, o starosti, građi godova i o vlazi.

S obzirom na sadržaj vlage razlikujemo:

1 — sirovo (zeleno) drvo — bez ograničenja vlage
2 — polusuho (provelo) drvo — s najviše 35% vlage
3 — prosušeno drvo — s najviše 20% vlage
4 — suho drvo — s najviše 15% vlage.

14.012.3 Stezanje i bujanje drveta

Obično se kaže da drvo »radi«. To je u vezi s izlaženjem vode iz njega, odnosno u vezi s upijanjem vode u nj. Pri tome dolazi do promjene u dimenzijama, u volumenu i težini drveta. Stezanje i bujanje su najneugodnija svojstva tehničkog drveta; ona mogu biti štetna, napose u građevinarstvu. Razlikujemo slobodnu i vezanu vodu u drvetu. Pri sušenju drveta prvo otparava slobodna voda, i to brže od vezane vode.

Pri izlaženju vode elementarne ćelije drveta dijelom zauzmu mjesta vode i drvo se steže. Stezanje drveta nije jednako u svim smjerovima, pa iznosi:

1 — u smjeru uzdužne osi (longitudinalno) 0,1—0,35%
2 — u smjeru sržnih trakova (radijalno)... 2,3—8,50%
3 — u smjeru godova (tangencijalno) ..... 4,0—14,00%.

Približan odnos 1 : 2 : 3 iznosi 1 : 10 : 20. Skupljanje po volumenu iznosi 7—21%. Ako suho drvo upija vlagu u svoje šupljine i stijenke, ono se rasteže ili buja.

Prosječno stezanje važnijih vrsta drveta sušenog na uzduhu otprilike sa 15% vlage

Tablica 3.

Vrsta drveta	Stezanje u postotku	
	radijalno	tangencijalno
Ariš	3,3	7,8
Bor	4,0	7,7
Breza	5,3	7,8
Brijest	4,6	8,3
Bukva	5,8	11,8
Grab	6,8	11,5
Hrast	4,0	7,8
Jasen	5,0	8,0
Javor	3,2	8,4
Jela	3,8	7,6
Lipa	5,5	9,1
Orah	5,4	7,5
Smreka	3,6	7,8
Topola	5,2	8,3

Ostala mehanička svojstva: elastičnost, čvrstoća na tlak, na vlak, na savijanje, itd. ovise o vrsti drveta, o količini vlage u drvetu, o starosti drveta i o smjeru u kojem drvo opterećujemo. Čvrstoća na vlak bit će znatno veća ako drvo istežemo u smjeru paralelnom s drvenim vlakancima negoli u smjeru okomitom na njih.

U tablici 4. prikazana su mehanička svojstva poznatih vrsta drveta.

Utjecaj vlage na čvrstoću može se prikazati otprilike ovako:

ako se sadržaj vlage povisi za 1%
— čvrstoća na tlak smanjuje se za 4—6%
— čvrstoća na vlak smanjuje se za 3%
— čvrstoća na savijanje smanjuje se za 4%.

Mehanička svojstva važnijih vrsta drveta sušenog na zraku s približno 15 % vlažnosti

Tablica 4.

Redni broj	Vrsta drveta	Smjer*	Prosječan modul elastičnosti kp/cm²	Čvrstoća na tlak kp/cm²	Čvrstoća na vlak kp/cm²	Čvrstoća na savijanje kp/cm²	Čvrstoća na odrez kp/cm²	Prijelomni udarni rad kpm/cm²
1.	Ariš	p o	120 000	350—690 60	1 070 23	540—1 320	45—100 250	0,40—1,30
2.	Bor	p o	120 000 4 600	300—800 40—160	350—1 960 10—44	350—2 060	60—150 210	0,20—1,60
3.	Breza	p o	165 000 8 000	325—850 90	350—2 700 70	650—1 400	120	0,45—1,30
4.	Brijest	p o	110 000	300—600 100	650—2 100 40	450—1 600	70 250	0,20—1,10
5.	Bukva	p o	160 000 15 400	350—840 90	570—1 800 70	630—1 800	65—190 340	0,80
6.	Grab	p o	130 000	440—800	470—2 000	470—1 400	85 320	0,80
7.	Hrast	p o	130 000 10 000	420—870 105	500—1 790 26—96	460—1 540	60—130 320	0,10—1,60
8.	Jasen	p o	120 000 11 000	250—630 52—165	340—2 200 70	500—1 780	65	0,10—2,60
9.	Javor	p o	113 000 11 000	420—650 100	560—1 950 35	500—1 400	90 330	0,65
10.	Jela	p o	110 000 4 900	260—500 42	480—1 180 23	400—1 000	40—65 275	0,40—1,10
11.	Lipa	p o	74 000 2 500	220—660	230—1 450 85—170	390—1 250	40—60 215	0,20—0,80
12.	Orah	p o	125 000	375—715 125	1 000 35	800—1 430	—	0,95
13.	Smreka	p o	110 000 5 500	300—670 20—95	400—2 450 15—40	420—1 160	54—120 260	0,10—1,10
14.	Topola	p o	88 000	220—480	430—1 100	400—800	40—60	0,30—0,70

* p — smjer paralelan s vlakancima drveta
o — smjer okomit na drvna vlakanca

Drvo je loš vodič topline. Njegova toplinska vodljivost je do tri puta veća u uzdužnom nego u poprečnom smjeru. Kalorična vrijednost drveta (ogrjevna moć) nije suviše visoka. Ona iznosi za 1 kg na zraku sušenog drveta otprilike sa 15% vlažnosti 3 700—4 000 kcal.

Suho drvo je loš vodič elektriciteta, dok ga vlažno drvo bolje provodi.

Drvo dobro provodi zvuk osobito u uzdužnom smjeru.

14.013 TRAJNOST DRVETA

Drvo se može vrlo dugo održati ako je stalno izloženo suhom zraku ili se stalno nalazi pod vodom, ali vrlo brzo propada ako se naizmjence nalazi sad na suhu, sad pod vodom. (Trupovi brodova, drvo zakopano u zemlju, drvo u vlažnim srednje toplim prostorijama s dovoljnim pristupom uzduha i bez promaje, a to je u praksi češći slučaj.) Zato je drvo sposobno da samo u toku određenog vremena odolijeva štetnim utjecajima vanjskih faktora na svoja tehnička svojstva.

Trajnost drveta ovisi o njegovoj vrsti, o vremenu sječe, o postupku nakon sječe, o starosti drveta, o vlazi, o klimatskim uvjetima, o sadržaju smole, djelovanju mikroorganizama i insekata, o načinu upotrebe i provedenoj zaštiti. Na primjer, drvo četinara gubi upotrebom:

— nakon 1 godine otprilike 50% od prvobitne vrijednosti svojih mehaničkih svojstava
— nakon 15 godina „ 75% „ „ „ „ „ „
— nakon 30 godina „ 80% „ „ „ „ „ „
— nakon 40 godina „ 85% „ „ „ „ „ „

Prema trajnosti razlikujemo:

vrlo trajno drvo — to su: hrast, ariš, brijest, bagrem, kesten pitomi, ebanovina, palisander; trajno drvo — jasen, bor, jela, smreka; kratkotrajno drvo — bukva, grab, joha, lipa, topola, vrba, divlji kesten.

Osim vlage drvo napadaju mnoge biljke i životinje: gljive, plijesni, bakterije, insekti (ličinke), mravi, termiti, morske školjke itd. Mnoge štetočine napadaju ga već u samoj šumi te ga dovode do razaranja i truleži. Poznata je štetočina gljiva pokućarka »*Merulius lacrymans*«. Sadržaj vlage u drvetu i okolnom zraku koji je povoljan za razvoj gljiva iznosi 20—60%, a temperatura od +3 do +38°C.

Novija istraživanja pokazuju da se truljenje drveta u rudnicima dešava uz 89—92%-tnu relativnu vlažnost, a iznad te relativne vlažnosti dolazi ono do punog izražaja.

14.014 GREŠKE DRVETA

Greške drveta su razni nedostaci, odstupanja od normalnih svojstava drveta, uslijed čega se smanjuje njegova upotrebljivost i vrijednost.

1 — **Greške u građi drveta.** To su:
11 — zakrivljenost suprotna ravnom drvetu, može biti u obliku zmije, luka i sl., na dnu stabla, u sredini ili na vrhu;
12 — ekscentrično srce (nepravilan poprečan presjek);
13 — dvostruko srce (sraščena, gaćasta stabla);
14 — vretenasto, čunjasto, paraboloidno stablo nastalo uslijed naglog pada promjera;
15 — granatost ili kvrgavost na mjestima gdje su bile grane;
16 — usukanost (otklon vlakanaca od smjera uzdužne osi stabla);
17 — valovitost (vlakanca teku paralelno s uzdužnom osi stabla, ali ne u obliku pravca); kod nekih vrsta drveta, npr. kod javora, ta se greška cijeni;
18 — smolne kesice (smolnjače) u smjeru vlakana dugačke i po nekoliko centimetara.

Mehanička svojstva važnijih vrsta drveta sušenog na zraku s približno 15 % vlažnosti

Tablica 4.

Redni broj	Vrsta drveta	Smjer*	Prosječan modul elastičnosti kp/cm²	Čvrstoća na tlak kp/cm²	Čvrstoća na vlak kp/cm²	Čvrstoća na savijanje kp/cm²	Čvrstoća na odrez kp/cm²	Prijelomni udarni rad kpm/cm²
1.	Ariš	p o	120 000	350—690 60	1 070 23	540—1 320	45—100 250	0,40—1,30
2.	Bor	p o	120 000 4 600	300—800 40—160	350—1 960 10—44	350—2 060	60—150 210	0,20—1,60
3.	Breza	p o	165 000 8 000	325—850 90	350—2 700 70	650—1 400	120	0,45—1,30
4.	Brijest	p o	110 000	300—600 100	650—2 100 40	450—1 600	70 250	0,20—1,10
5.	Bukva	p o	160 000 15 400	350—840 90	570—1 800 70	630—1 800	65—190 340	0,80
6.	Grab	p o	130 000	440—800	470—2 000	470—1 400	85 320	0,80
7.	Hrast	p o	130 000 10 000	420—870 105	500—1 790 26—96	460—1 540	60—130 320	0,10—1,60
8.	Jasen	p o	120 000 11 000	250—630 52—165	340—2 200 70	500—1 780	65	0,10—2,60
9.	Javor	p o	113 000 11 000	420—650 100	560—1 950 35	500—1 400	90 330	0,65
10.	Jela	p o	110 000 4 900	260—500 42	480—1 180 23	400—1 000	40—65 275	0,40—1,10
11.	Lipa	p o	74 000 2 500	220—660	230—1 450 85—170	390—1 250	40—60 215	0,20—0,80
12.	Orah	p o	125 000	375—715 125	1 000 35	800—1 430	—	0,95
13.	Smreka	p o	110 000 5 500	300—670 20—95	400—2 450 15—40	420—1 160	54—120 260	0,10—1,10
14.	Topola	p o	88 000	220—480	430—1 100	400—800	40—60	0,30—0,70

* p — smjer paralelan s vlakancima drveta
o — smjer okomit na drvna vlakanca

Drvo je loš vodič topline. Njegova toplinska vodljivost je do tri puta veća u uzdužnom nego u poprečnom smjeru. Kalorična vrijednost drveta (ogrjevna moć) nije suviše visoka. Ona iznosi za 1 kg na zraku sušenog drveta otprilike sa 15% vlažnosti 3 700—4 000 kcal.

Suho drvo je loš vodič elektriciteta, dok ga vlažno drvo bolje provodi.

Drvo dobro provodi zvuk osobito u uzdužnom smjeru.

14.013 TRAJNOST DRVETA

Drvo se može vrlo dugo održati ako je stalno izloženo suhom zraku ili se stalno nalazi pod vodom, ali vrlo brzo propada ako se naizmjence nalazi sad na suhu, sad pod vodom. (Trupovi brodova, drvo zakopano u zemlju, drvo u vlažnim srednje toplim prostorijama s dovoljnim pristupom uzduha i bez promaje, a to je u praksi češći slučaj.) Zato je drvo sposobno da samo u toku određenog vremena odolijeva štetnim utjecajima vanjskih faktora na svoja tehnička svojstva.

Trajnost drveta ovisi o njegovoj vrsti, o vremenu sječe, o postupku nakon sječe, o starosti drveta, o vlazi, o klimatskim uvjetima, o sadržaju smole, djelovanju mikroorganizama i insekata, o načinu upotrebe i provedenoj zaštiti. Na primjer, drvo četinara gubi upotrebom:

— nakon 1 godine otprilike 50% od prvobitne vrijednosti svojih mehaničkih svojstava
— nakon 15 godina „ 75% „ „ „ „ „ „
— nakon 30 godina „ 80% „ „ „ „ „ „
— nakon 40 godina „ 85% „ „ „ „ „ „

Prema trajnosti razlikujemo:

vrlo trajno drvo — to su: hrast, ariš, brijest, bagrem, kesten pitomi, ebanovina, palisander; trajno drvo — jasen, bor, jela, smreka; kratkotrajno drvo — bukva, grab, joha, lipa, topola, vrba, divlji kesten.

Osim vlage drvo napadaju mnoge biljke i životinje: gljive, plijesni, bakterije, insekti (ličinke), mravi, termiti, morske školjke itd. Mnoge štetočine napadaju ga već u samoj šumi te ga dovode do razaranja i truleži. Poznata je štetočina gljiva pokućarka »*Merulius lacrymans*«. Sadržaj vlage u drvetu i okolnom zraku koji je povoljan za razvoj gljiva iznosi 20—60%, a temperatura od +3 do +38°C.

Novija istraživanja pokazuju da se truljenje drveta u rudnicima dešava uz 89—92%-tnu relativnu vlažnost, a iznad te relativne vlažnosti dolazi ono do punog izražaja.

14.014 GREŠKE DRVETA

Greške drveta su razni nedostaci, odstupanja od normalnih svojstava drveta, uslijed čega se smanjuje njegova upotrebljivost i vrijednost.

1 — **Greške u građi drveta.** To su:
11 — zakrivljenost suprotna ravnom drvetu, može biti u obliku zmije, luka i sl., na dnu stabla, u sredini ili na vrhu;
12 — ekscentrično srce (nepravilan poprečan presjek);
13 — dvostruko srce (sraščena, gaćasta stabla);
14 — vretenasto, čunjasto, paraboloidno stablo nastalo uslijed naglog pada promjera;
15 — granatost ili kvrgavost na mjestima gdje su bile grane;
16 — usukanost (otklon vlakanaca od smjera uzdužne osi stabla);
17 — valovitost (vlakanca teku paralelno s uzdužnom osi stabla, ali ne u obliku pravca); kod nekih vrsta drveta, npr. kod javora, ta se greška cijeni;
18 — smolne kesice (smolnjače) u smjeru vlakana dugačke i po nekoliko centimetara.

2 — **Greške izazvane fizikalnim utjecajima** (djelovanjem vjetra, velikim temperaturnim razlikama i mehaničkim oštećenjima):

21 — radijalne raspukline nastaju na drvetu ili za vrijeme obaranja, a idu od srca prema periferiji;

22 — kružne raspukline (okružljivost) u obliku luka javljaju se na godovima, i to isključivo na stablu koje nema grana;

23 — raspukline od studeni (zimotresnost) na donjem dijelu stabla u radijalnom smjeru od kore prema srcu pretežno kod lišćara;

24 — raspukline od sušenja nalaze se na periferiji stabla, a idu od kore prema srcu;

25 — vitlanje drveta dovodi do promjena koje se javljaju ne samo u pojedinim smjerovima nego i na ravninama uslijed nehomogene i nepravilne građe te neravnomjernog sušenja;

26 — zapaljenje kore na usamljenom drvetu okrenutom jugu i izloženom suncu i temperaturi iznad 50°C; kambij izumire, kora se suši, prska i podiže;

27 — oštećenja uslijed groma, grada, zasijecanja kore i sl.

3 — **Promjena boje drveta** od normalne upućuje na patološke promjene koje dovode do truljenja drveta.

4 — **Oštećenja i greške** uslijed napada insekata i njihovih ličinki.

14.015 ZAŠTITA DRVETA

Zaštita drveta ima svrhu da produži njegovu trajnost te da njegovo propadanje i gubitak tehničkih svojstava svede na najmanju moguću mjeru. S tim u vezi treba u zaštitu drveta u širem smislu ubrojiti i smanjenje vlažnosti drveta (sušenje), koje je važan preduvjet zaštite sa zaštitnim sredstvima, kao i zaštitu od požara. Odgovarajućom zaštitom drveta može se vijek trajanja produljiti za 3 do 6 puta.

14.015.1 Sušenje

Sirovo evropsko drvo može imati vlage i do 100%, izračunato s obzirom na suhu drvenu tvar. Od te količine sva vlaga iznad 30% je slobodna voda, a ispod toga je vezana voda u drvnoj masi.

Razlikujemo:

1 — Prirodno sušenje. Do njega dolazi na uzduhu na otvorenu, s provizornim krovom od dasaka, pod nadstrešnicom i u zatvorenu prostoru s prirodnom ventilacijom. Prirodno sušenje traje 2—3 godine, a sadržaj vezane vode može se pri tome smanjiti na 13—18%.

Daske se slažu po posebnom redu u trokute, četverokute ili u četverokutne rešetke da bi se svuda osigurao pristup uzduha.

2 — **Umjetno sušenje** je brže i bolje jer omogućuje smanjenje vlage na postotak koji odgovara kasnijoj namjeni drveta.

Na primjer drvo:

za namještaj treba da ima	5—7% vlage
za unutrašnju gradnju	6—8% vlage
za vanjsku gradnju	12% vlage
za muzičke instrumente	5—7% vlage
za sportske proizvode	10% vlage
za avione	8% vlage
za hidroavione	12% vlage.

Umjetno sušenje provodi se toplim uzduhom (plinovima ili kombinirano s vodenom parom (parenje) u sušnicama koje imaju uređaje za reguliranje temperature, stupnja vlažnosti i cirkulacije uzduha. Sušenje se provodi u komorama s prirodnom i umjetnom ventilacijom ili u tunelskim sušnicama i traje nekoliko dana.

14.015.2 Sredstva za zaštitu drveta od propadanja (truljenja)

Zaštitna sredstva mogu se nanositi:

1 — premazivanjem ili štrcanjem

2 — uronjavanjem (potapanjem) u otvorenim bazenima i

3 — uronjavanjem (potapanjem) u kotlovima pod pritiskom (metoda potpune impregnacije po principu vakuum-pritiska i metoda štedne impregnacije po Rupingu) ili po principu pritisak-pritisak cinkovim kloridom i kreozotnim uljem

4 — postupkom difuzije i osmoze (pastom).

Bojama i lakovima na bazi sušivih ulja, ili na bazi sintetskih smola provodi se površinska zaštita na suhom obrađenom drvetu, pretežno protiv utjecaja vlage, atmosferilija i drugih agensa te u dekorativne svrhe.

Zaštita drveta protiv štetnog djelovanja gljiva, bakterija i insekata i njihovih ličinki može se efikasno provoditi upotrebom otrovnih kemijskih sredstava. Takva sredstva primjenjuju se na osušenu drvetu s kojega je skinuta kora (izuzetno na svježem drvetu s korom tzv. Boucherijevog [Bušeri] postupka s bakrenim sulfatom).

Takva otrovna sredstva jesu: katran, katransko ulje kamenog ugljena s vrelištem 175—350°C (ulje za impregnaciju, kreozotno ulje, karbolineum), klorirani fenoli, klorirani naftalini, (Xylamon), bakreni sulfat, živin klorid, tj. sublimat (postupak se zove »kijaniziranje« po Kyanu), natrijev fluorid, natrijev silikofluorid (tzv. Wolmanove soli, koje dolaze pomiješane s kalijevim bikromatom, arsenovim solima, bakrenim i cinkovim naftenatima i dr.). Zaštita protiv bujanja, djelovanja gljiva i insekata može se provesti i tzv. metalizacijom drveta nanošenjem metalnih folija ili metalnih prašaka na još vlažan ili smolni bitumenski premaz ili nanošenjem metalnih boja na drvo (npr. Al-folije, Al-prah, olovne i druge metalne boje) ili se impregnira metalima npr. olovom, kositrom, bizmutom i dr. Time se povećavaju tvrdoća, težina i trajnost.

14.015.3 Sredstva za zaštitu od požara

Ta sredstva pretežno stvaraju na drvetu neizgorive taline i provode izolaciju drvnih vlakana od kisika. Mogu se nanositi spomenutim postupcima i u kombinaciji s drugim zaštitnim sredstvima protiv truljenja. Među ta protupožarna sredstva spadaju: kalcijev hidroksid, gašeno vapno, kalijev i natrijev silikat (vodeno staklo), uz dodatak vapnenca i azbesta u prahu, amonijev sulfat, amonijev fosfat, cinkov fosfat, natrijev tetraborat (boraks), borna kiselina i dr.

14.016 PRERADA DRVETA

Tehničko drvo dijelimo na obrađeno i na neobrađeno.

Neobrađeno drvo (trupci) jesu: oblo drvo, obla građa: (jarboli, stupovi, za skele, piloti, stupovi za vodove), sitno oblo drvo (štapovi, motke, kolje, držala), cijepano drvo (drvo za obrt, za drvnu vunu), drvo za kemijsku preradu (drvo za celulozu, za suhu destilaciju, za tanin), ogrjevno drvo, drvo za generatore.

Obrađeno drvo. Ono može biti obrađeno pomoću ručnog alata (cijepanjem, tesanjem i dr., pomoću strojeva (piljenjem, blanjanjem, brušenjem, rezanjem, tokarenjem, spajanjem, tlačenjem, mljevenjem i dr.

Tesano drvo: željeznički pragovi, drvo za brodogradnju, drvo za građevinarstvo.

Cijepano drvo: dužice, vratila za kolare, vesla, drvo za obrt.

Piljeno drvo: kladarke, debljine od 13 cm naviše, planke (platice) debljine od 48 mm naviše, daske debljine od 12 do 47 mm, listovi debljine od 5 do 11 mm, grede, gredice, letve, četvrtače (štafeli), polučetvrtače i dr.

Ljušteno i rezano drvo: furniri (oplate), ljuštike (daščice), spone (tanki listovi), drvena vuna.

Spojeno i tlačeno drvo: šper-ploče, lignoston, bakelizirano drvo, metalizirano drvo, građevne ploče (heraklit, lignolit, homalit, frisalit itd.), ploče od drvnih vlakanaca (lake izolacione ploče i tvrde ploče, ploče od piljevine), strugotina i triješća (iverice ili špan-ploče), plastično drvo iz piljevine i drvnog brašna itd.

Furniri (oplate) su vrlo tanki listovi ili daščice debljine 0,3—2,0 mm koji služe za presvlačenje manje vrijednog unutrašnjeg drveta skupocjenijim (hrast, orah, javor, trešnja, jasen itd.), a ako su debljine od 4 do 10 mm, služe kao srednice. Dobivaju se od trupaca za furnire, ljuštenjem, rezanjem i piljenjem. Prodaju se po m^2.

Šper-ploče (šperovano, ukočeno drvo) izrađuju se lijepljenjem unakrst neparnog broja furnira iste debljine i iste ili srodne vrste drveta, kako bi se izbjeglo stezanje i vitlanje drveta. Šper-ploče su debljine 3 do 7 mm i više. Lijepljenje se obavlja pomoću ljepila (biljnih, životinjskih, kazeinskih, albuminskih i ljepila od umjetnih smola) pod hidrauličnom prešom.

Panel-ploče sastoje se od letvica mekog drveta u sredini, a gore i dolje su nalijepljeni furniri. Debljina panel-ploča iznosi od 1,5 do 5 cm.

Lesonit-ploče izrađuju se iz kaše drvnih vlakanaca raščijanog (defibriranog) drveta pomiješane s fenol-formaldehidnom smolom i dr., pa su zatim slijepljene pod hidrauličnom prešom.

Ploče iverice (špan-ploče) sastoje se od kemijski ili mehanički tretiranih drvnih vlakanaca, iz piljevine, strugotine od blanjanja drveta, specijalno priređenog triješća te organskih ili anorganskih veziva otvrdnutih pod pritiskom.

Lignoston je prešano osušeno drvo u dva okomita smjera na vlakna pod visokim pritiskom od 300 do 350 atmosfera, pri čemu je skelet ćelija razoren i uleknut pa šuplji prostori manje ili više nestaju.

14.017 ISPITIVANJE DRVETA

Ispitivanjem drveta određuje se:

1 — gustoća (specifična težina, prostorna težina) — DIN 52 182,
2 — sadržaj vlage — DIN 52 183
3 — stezanje i bujanje drveta — DIN 52 184
4 — čvrstoća na tlak — DIN 52 185
5 — čvrstoća na savijanje — DIN 52 186
6 — čvrstoća na odrez — DIN 52 187
7 — čvrstoća na vlak — DIN 52 188
8 — otpor na savijanje udarom — DIN 52 189
9 — otpor na sukanje (torziju) — DIN 52 190
10 — otpor na cijepanje — DIN 52 191.

Trajnost drveta ispituje se u uvjetima sličnim onima u kojima će se drvo primijeniti.

14.02 LJEPILA

Ljepila su nemetalne tvari koje pri međusobnom spajanju istih ili različitih predmeta ne mijenjaju svoj sastav. Čvrstoća lijepljenja temelji se na prianjanju (adheziji) molekula osnovne tvari ljepila na površinu materijala koji se lijepi, kao i na dovoljnoj mehaničkoj čvrstoći (koheziji) samog ljepila.

Ljepila su većinom visokomolekularni organski spojevi (ili smjese organskih spojeva) čija molekularna težina iznosi od nekoliko hiljada do više stotina hiljada, koji daju koloidne ili polukoloidne otopine visokog viskoziteta. Ljepila se po pravilu nanose u manje-više tekućem tankom sloju (»sol«) i nakon otvrđivanja daju elastičan film (»gel«) koji drži skupa slijepljene predmete.

U trgovinu dolaze kao:

1 — tekuća ljepila
2 — plastična ljepila
3 — čvrsta ljepila.

Tekuća ljepila mogu biti:

1 — otopine (voda kao otapalo, npr. tutkalo)
2 — ljepljive disperzije (vodene disperzije u vodi netopljivih polimera, npr. lateks)
3 — ljepljivi lakovi (s organskim otapalom).

Plastična ljepila mogu biti npr. kitovi. Čvrsta ljepila su taline ljepila (u obliku praha, štapova, filma ili folija).

Razlikujemo:

1 — **ljepila životinjskog porijekla**

Kolagen je glavni sastojak životinjskog vezivnog tkiva žila, kože, organskog dijela kostiju i hrskavice. To je bjelančevina u obliku vlakana, mjestimično isprepletenih. Ako ga zagrijavamo dulje vrijeme s vodom, kolagen prelazi hidrolizom u tvari topljive u vreloj vodi, koje nazivamo **glutin.** Nakon ohlađenja čak 11%-tna otopina prelazi u hladetinasto stanje (»gel«) te na kraju otvrdne. Tako dobivamo tutkalo i želatinu.

11 — **Tutkalo (»kelje«)**

Kožno tutkalo dobivamo iz otpadaka koža koji preostaju u tvornicama koža. Slovi kao najbolje tutkalo. Svjetložute je do smeđe transparentne boje.

Koštano tutkalo dobiva se iz organskog dijela životinjskih kostiju, tamnije je i mutne boje, ali ne mora biti manje ljepljivo ako mu se pri proizvodnji posveti veća pažnja.

Riblje tutkalo dobiva se iz ribljih otpadaka: kostiju, pokožnice ili kralješnjaka. Lošije je kvalitete od kožnog i koštanog tutkala.

Zečje tutkalo prireduje se iz kože i kostiju zečeva i drugih sitnih životinja. Slabije je kvalitete.

Upotreba

Upotrebljava se u stolarstvu, u industriji namještaja, u drvnoj i tekstilnoj industriji za apreture, za proizvodnju hektografskih masa, žigica i papira.

U trgovini dolazi u pločicama, »perlicama« i kuglicama.

12 — **Želatina**

Želatina je osobito čisto tutkalo, bijele boje ili je obojena crveno i zeleno anilinskim bojama.

Po kvaliteti razlikujemo čistu i ekstračistu (u vodi bistra i prozirna s najviše 2% pepela).

Dobiva se iz telećih kostiju ili kože teladi i janjaca itd.

Upotreba

Upotrebljava se u domaćinstvu, u farmaceutskoj industriji (za kapsule), u kemijskoj i fotografskoj industriji (za foto-ploče i papir), u vinarstvu, u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji, u industriji konzervi, u proizvodnji tiskarskih boja itd.

Otpornost želatine prema vodi može se povećati dodatkom formaldehida (formalina), čime ona postaje i tvrda.

13 — **Kazeinsko ljepilo**

Dobiva se iz zgrušane bjelančevine kravljeg mlijeka, kazeina (kojeg u mlijeku ima oko 3%). Dispergirani kazein postaje ljepljiv i može se uspješno upotrijebiti kao hladno ljepilo. U vodi se kazein ne topi, već bubri. Ljepilo se može učiniti otpornim prema vodi ako se obradi formaldehidom. Kazein se lako topi u amonijaku, u kalijevoj i natrijevoj lužini, u boraksu, potaši, sodi i natrijevu bikarbonatu.

Upotreba

Upotrebljava se za ljepljenje šper-ploča, panel-ploča, furnira i drugih drvenih dijelova, u papirnoj industriji, kao vezivo u bojadisarstvu itd.

14 — **Albuminsko ljepilo**

Albumin je vrsta jednostavnih bjelančevina, a dobiva se sušenjem krvi domaćih životinja. Krvni albumin je svijetložute do crne boje, prema čistoći. Dolazi u sitnim sjajnim kristalima, »perlama« ili listićima. Topljiv je u vodi, alkoholu, razrijeđenim otopinama soli nekih metala te u kiselinama i lužinama. Zagrijavanjem se zgrušava (koagulira).

Upotreba

Upotrebljava se kao ljepilo u industriji panel-ploča i šper-ploča, u kožarskoj i tekstilnoj industriji.

2 — **Ljepila biljnog porijekla**

21 — **Škrobno ljepilo**

Dobiva se iz škroba $(C_6H_{10}O_5)_n$ krumpira, kukuruza i drugih žita. Bijeli amorfni prah s vrelom vodom daje želatinoznu masu, ne otapa se u hladnoj vodi, alkoholu i eteru. Za stabilizaciju škrobnog ljepila dodaje se fenol, stipsa, živin klorid i dr.

Upotreba

Upotrebljava se u papirnoj industriji. Za lijepljenje drveta nije upotrebljivo.

22 — **Dekstrin-ljepilo**

Dekstrin se dobiva pomoću razrijeđenih kiselina (solne ili dušične), koje hidratiziraju škrob u dekstrinu ili se dobiva prženjem škroba pri 160—200°C. Dekstrinsko ljepilo dolazi u prahu, zrnu ili u gustoj tekućini. Boje je bijele, žute i smeđe. Razlikujemo dekstrine iz krumpirova, kukuruznog i pšeničnog škroba.

»Kristalna guma« je poseban pšenični dekstrin.

U hladnoj vodi se svi dekstrini teško tope.

Upotreba

Upotrebljava se kao ljepilo i uguščivač u kožarskoj i tekstilnoj industriji, u proizvodnji tapeta, kartona i glaziranog papira, za gumiranje poštanskih maraka, za hladna ljepila itd.

Ostala ljepila Tablica 1.

Redni broj	Vrsta ljepila	Oznaka ljepila	Primjena
1.	Ljepila iz prirodnih smola	kolofonij kopal-smola	u papirnoj industriji ljepila za linoleum
2.	Kaučuk-ljepila	kaučuk-ljepilo kaučuk-kit lateks-ljepilo	ljepilo za gumu u automobilskoj industriji u industriji obuće za lomiranje
3.	Celulozna ljepila		
	a) topljiva u organskim otapalima	nitrocelulozno ljepilo	u industriji obuće, u kožno-prerađivačkoj industriji
		metil-celuloza	u kemijskoj i farmaceutskoj industriji za vezivanje gipsa, za sredstva za nagrizanje
		etil-acetil-i benzil-celuloza	u industriji lakova
	b) topljiva u vodi	celulozni glikolati visoko, srednje i nisko viskozni	za tapetare i ličilce, u kemijskoj i farmaceutskoj industriji, u tekstilnoj industriji, za oplemenjivanje papira i preradu, pri eksploataciji nafte, u duhanskoj industriji
		metil-celuloza visoko, srednje i nisko viskozna	u industriji lakova, za oplemenjivanje tekstila, u kemijskoj i farmaceutskoj industriji
4.	Celulozna podlužnica	sulfitna podlužnica	ljepilo za linoleum, u industrijskoj preradi papira
5.	Vodeno staklo	natrijevo vodeno staklo	za doradu valovite ljepenke, u industriji prerade papira
		kalijevo vodeno staklo	za ličenje
6.	Ljepila iz umjetnih smola	fenol-kresol-formaldehidna smola	u industriji šper-ploča, u industrijskoj preradi papira
		urea-formaldehidna smola	u industriji šper-ploča i iverica, u industriji namještaja, u industrijskoj preradi papira
		melamin-formaldehidna smola	za oplemenjivanje papira, za spajanje drveta u industriji namještaja i šper-ploča
		polivinil-acetatne smole	u preradi papira, u industriji namještaja, za premaze i umjetne mase
		esteri poliakrilne kiseline	za sigurnosno staklo, za specijalna ljepila
		polimerizati vinil-etera i vinil-klorida	za specijalna ljepila
		polimerizati butadiena	u industriji obuće, u automobilskoj industriji

Trgovačka imena važnijih ljepila na bazi umjetnih smola

Tablica 2.

Redni broj	Trgovačko ime ljepila	Baza ljepila
1.	Vistanex (USA)	polimerizati poliizobutilen
2.	Kumaronska smola smola	polimerizati kumaron-indenske smole
3.	Lutonal (D)	polimerizati polivinil-eter
4.	Unythe (USA) Kaurit (D)	polikondenzati aminoplasti (karbamidne smole)
5.	Glutofix (D)	celulozni eter
6.	Tegofan (D)	klor-kaučuk
7.	Polistal (D)	poliadicioni spojevi poliuretan
8.	Araldit (Shcweiz)	poliadicioni spojevi, epoksidne smole (ljepilo za metale)
9.	Epikot (E)	epoksidne smole (za lijepljenje prešanih ploča)

14.03 PRIRODNI I UMJETNI KAMEN

14.031 VRSTE I SVOJSTVA PRIRODNOG KAMENA

Stijene su sastavni dijelovi Zemljine kore. Svaka stijena sastavljena je od jednog ili više različitih minerala. To su kemijski individuumi koji se mogu izraziti kemijskom formulom, tj. stabilnog kemijskog sastava. Minerali su, prema tome, kemijski i fizikalno homogeni, dok su stijene nehomogene nakupine (agregati) minerala. Prirodni kamen je dio stijene te se po svome postanku razlikuje od umjetnog kamena.

Stijene po postanku dijelimo:

1 — na magmatske (eruptivne) stijene, tj. na
11 — intruzivne (dubinske), nastale kristalizacijom magme
12 — efuzivne (izlivne), nastale djelomičnom ili potpunom kristalizacijom iz lave
13 — žilne (tzv. kristalasti škriljci)

2 — na sedimentne (taložne) stijene, tj. na
21 — mehaničke sedimente (taloge)
22 — kemijske sedimente
23 — organogene sedimente

3 — na metamorfne stijene.

14.031.1 Vrste kamena

1 — Magmatsko kamenje

Granit — zrnast, intruzivni, kiseli magmatski kamen.
Boja: siva do sivomodra, crvenkasta, žućkasta, crvena, bijelosiva i zelena.
Prostorna težina: 2 500 kp/m³
Čvrstoća na tlak: 1 200—2 500 kp/cm²
Dopušteno opterećenje tlaka: 45 kp/cm²
Upijanje vode: manje od 2% težine.

Upotreba

Ona je velika i raznovrsna. To se kamenje upotrebljava za sve vrste masivnih konstrukcija i građevinskih poslova, za dekorativne svrhe, za kiparske objekte, za popločavanje i izradu putova itd.

Sijenit, zrnasti intruzivni kamen. Nema kremena ili ga ima u vrlo malim količinama. Srednje je tvrdoće, lakše obradiv od granita.
Boja: tamnosiva, crvena, zelenkasta
Prostorna težina: 2 500—3 000 kp/m³
Čvrstoća na tlak: 1 500—2 600 kp/cm²
Dopušteno opterećenje tlaka: 40 kp/cm²
Upijanje vode: manje od 0,5% težine.

Upotreba: kao kod granita, za fasade, spomenike i sl., ali je rijetko rasprostranjen.

Diorit, zrnati dubinski kamen. Manje je tvrdoće od granita, dade se polirati.
Boja: tamnosiva do crna, zelena, crno-bijela s mrljama
Prostorna težina: 2 800—3 000 kp/m³
Čvrstoća na tlak: 1 800—2 400 kp/cm²
Dopušteno opterećenje tlaka: 60 kp/cm²
Upijanje vode: manje od 0,4% težine

Upotreba: ograničenija od granita; primjenjuje se za sve građevinske radove (rijetko za zidanje) i za nadgrobne spomenike.

Gabro, zrnast bazičan magmatski kamen
Boja: tamnozelena do tamnosmeđa, crna, siva i zelenkasta
Tvrdoća je velika pa se kamen teško obrađuje, dobro se polira i otporan je protiv habanja
Prostorna težina: 2 950 kp/m³
Čvrstoća na tlak: 2 000 kp/cm²

Upotreba: za vanjsku i unutarnju gradnju; tamne boje se rjeđe upotrebljavaju za zidanje, a svjetlije i granitske strukture više, za popločavanje putova i cesta.

Trahit, efuzivan površinski kamen sijenitske magme. Bez kremena, porfirne strukture, odgovara sijenitu.
Boja: svijetlosiva, žućkastosiva, zelenkasta, crvenkasta
Srednje tvrd, lako se obrađuje.
Prostorna težina: 2 200—2 400 kp/m³
Čvrstoća na tlak: 400—700 kp/cm²
Dopušteno opterećenje tlaka: 30 kp/cm²
Upijanje vode: 2—5% težine

Upotreba: za taracanje, za zidanje, za fasade i dr.

Andezit, mladi površinski efuzivni kamen, porfirske strukture. Odgovara dioritu.
Boja: svijetlosiva do tamnosiva.
Tvrd je i teško se obrađuje.
Upotreba: za popločavanje, za gradnju putova itd.

Dacit, kamen sličan andezitu, koji sadržava još i kremena. Pogodan je za izradu kocaka za ceste i putove.

Bazalt je efuzivni bazični kamen gabrovske magme, vrlo jednolike, fino zrnate, gotovo staklaste osnovne mase. Odgovara gabru. Porfirne je strukture. Bazaltu je sličan dijabaz, zeleni kamen.
Boja: tamnosiva
Vrlo tvrd, žilav, dade se polirati.
Prostorna težina: 2 900—3 300 kp/m³
Čvrstoća na tlak: 2 000—3 900 kp/cm²
Dopušteno opterećenje tlaka: 60 kp/cm²
Upijanje vode: manje od 0,3% težine

Upotreba: kao podloga za željezničke pruge, za fundiranje, za vodogradnje, kao tucanik i dodatak žbuci.

Melafir je efuzivni kamen gabrovske magme. U šupljinama koje su nastale pri ohlađivanju iskristalizirale su se vruće otopine. To su tzv. mandule, koje su često bijele boje.
Boja: tamnosiva, gotovo crna.
Prostorna težina: 2 500—2 800 kp/m³
Čvrstoća na tlak: 1 200—1 600 kp/cm²

Upotreba: izvrstan građevni materijal, služi kao ukrasni kamen.

Porfir je efuzivni površinski kamen granitske magme. Ima tzv. porfirnu strukturu, masa je jedra, sitnozrnata ili amorfna s razasutim krupnim kristalima.

Vulkanski tufovi nastaju erupcijom vulkana iz tekuće lave koja brzo očvrsne u staklasti prah, pepeo, lapile i vulkanske bombe, koji se talože na suhu ili u vodi. Ovdje spadaju: trahitov tuf ili tras i tzv. puzzolan (bazaltov tuf u blizini Napulja, koji je sirovina za dobivanje cementa). Isto tako nastaju i vulkanska stakla obsidijan, smolinac, plovučac itd. Ovaj posljednji služi kao materijal za izolaciju zbog svoje male prostorne težine (950 kp/m³)

2 — Sedimentno kamenje

21 — Mehanički sedimenti

Ti su sedimenti nevezani (rastresiti), poluvezani i vezani (cementirani).

Nevezani sedimenti:

Sipari su nakupine izdrobljenog materijala koji se može korisno upotrijebiti za građevnotehničke svrhe, za gradnju i održavanje cesta i željezničkih pruga te kao tučenac za priređivanje betona.

Valutice, šljunak i pijesak odgovaraju po sastavu okolnog područja rijeka i potoka (vapnenački i dolomitski šljunak i pijesak).

Les ili prapor je mineralni i kameni prah.

Gline su finozrnati sedimenti visokog stupnja disperziteta. To je zajedničko ime za smjese **minerala alumosilikatnih** i vode, koji imaju koloidna svojstva. Gline imaju veliku ulogu u mnogim industrijama, u građevinarstvu i u građevinskoj industriji, u keramičkoj i kemijskoj industriji, pri bušenju nafte itd.

Kaolin je čista glina koja se upotrebljava u keramičkoj industriji, u industriji papira i dr.

Ilovača je sasvim nečista glina s mnogo željeznih oksida, pijeska i organskih materija, koji joj daju žutu, crvenkastu, sivu, smeđu, plavkastu, crnu itd. boju.

Crljenica (terra rossa) — u vodi neotopljen ostatak vapnenca. Boje je crvenkastosmeđe.

Boksit je genetski vezan s crljenicom pa ga smatramo fosilnom crljenicom.

Vezani ili cementirani sedimenti

Breče nastaju vezanjem nevezanih (rastresitih) oštrougaonih ulomaka vezivom. Upotrebljavaju se u građevinarstvu i u arhitekturi kao građevni i ukrasni kamen.

Konglomerati su sastavljeni od valutica ili šljunka i veziva.

Pješčari nastaju vezanjem (cementiranjem) pijesaka. U njima postoje dvije vrste cementa, tzv. kontaktni cement i cement pora.

Tehnička svojstva vezanih sedimenata: čvrstoća na tlak vapnenih i mramornih breča iznosi do 1 000 kp/cm²; vapnenih konglomerata 500 kp/cm² a kremenih 1 000—2 000 kp/cm²; pješčara s glinenim i laporastim vezivom 300—500 kp/cm².

22 — Kemijski sedimenti

Gips, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ i anhidrit $CaSO_4$
Čist i razno obojen gips dolazi pod imenom **alabaster.**

Kalcit je kalcijev karbonat u vapnencima.

Dolomit je kalcijev-magnezijev karbonat u vapnencima.

Vapnenački tuf ili sedra nastaje u područjima izvora ugljične kiseline, koju zajedno sa znatnim količinama otopljenog kalcijeva karbonata donose tople vode iz dubina litosfere.

23 — Organogeni sedimenti

Mramor je čisti kristalinski vapnenjak.

Kreda je vrlo sitno zrnast, prhak i slabo cementiran vapnenjak. Sastavljena je od sitnih zrnaca kalcita i skeleta raznovrsnih organizama.

U tu skupinu spadaju zoogeni bituminarni sedimenti:
— nafta
— asfalt i ozokerit
— bituminarni škriljci
— gvano.

Tehnička svojstva vapnenjaka:
prostorna težina 1 900—2 700 kp/m³,
čvrstoća na tlak 100—2 800 kp/cm².
Povoljna je mikrokristalna struktura, a nepovoljna amorfna struktura.

3 — Metamorfno kamenje

Gnajs je srodan granitu i po mineralnom i kemijskom sastavu. Prostorna težina mu je 2 400—2 900 kp/m³.
Za tehničke svrhe upotrebljava se mnogo manje nego granit.

Filit je nastao metamorfozom iz glinenih škriljaca.
Boja: smeđežuta, zelenkasta, katkad crna. Jače očvrsli filiti dadu se kalati u tanje ploče, koje se primjenjuju za pokrivanje krovova i za zidanje u suhom. U metamorfne stijene spadaju još škriljci, kvarciti, mramori.

Mramor je sastavljen od minerala kalcita i dolomita. To je vapneni i dolomitni kamen izrazitog kristaliniteta. Dijelimo ga prema metamorfnim zonama u mramor najdublje, srednje i najpliće zone. Mramori su udruženi sa stijenama razne geološke starosti.
Boja: različita (ružičasta, plavkasta, crvena, žućkasta). Prostorna težina: 2 700 — —2 900 kp/m³.

Tvrdoća po Mohsu oko 4.
Čvrstoća na tlak: 1 000—1 200 kp/cm².
Lako se obrađuje i polira.

Masa mu je slabo porozna, ispod 1% volumena (kod kararskog mramora svega 0,01—0,22% volumena).

Nepoželjni minerali u mramoru su pirit, siderit, magnetit i kvarc.

Upotreba. Rijetko se upotrebljava za obične građevinske radove, već za unutrašnje dekorativno oblaganje zidova. Za vanjsku upotrebu ne dolaze u obzir oni mramori koji su obojeni organskim ili ugljenim materijama.

Kvarcit je sastavljen pretežno od kremena.

14.031.2 Svojstva prirodnog kamena

Svojstva kamena potrebno je poznavati radi njegove lakše i pravilne primjene s obzirom na zahtjeve i uvjete eksploatacije.

Svojstva kamena jesu:

1 — boja (s obzirom na postojanost i estetske zahtjeve)
2 — struktura (oblik, veličina i veza pojedinih minerala, izgled, obrada)
3 — tekstura (raspored mineralnih sastojina, šare u kamenu)
4 — prostorna težina, gustoća (specifična težina)
5 — upijanje vode i poroznost (važno svojstvo radi primjene)
6 — vodopropusnost
7 — tvrdoća (o njoj je ovisna lakša ili teža prerada)
8 — čvrstoća na tlak
9 — žilavost
10 — obradivost
11 — toplinska i zvučna vodljivost
12 — postojanost na niskim temperaturama i prema utjecaju atmosferilija itd.

14.032 OBRADA KAMENA

Krupni komadi kamena izvađenog u kamenolomu lome se, klešu i režu ručno ili pomoću strojeva na sitnije komade, na potrebnu veličinu i oblik, a zatim se obrađuje površina da bi se postigao traženi izgled, površina i potrebni efekti, »bosiranjem«, brušenjem, zarezivanjem, udubljivanjem, hrapavljenjem, glačanjem ili poliranjem.

U praksi se kamen upotrebljava u vrlo različitim oblicima.

1 — Pravilni geometrijski oblici

U pravilne geometrijske oblike režu se kameni blokovi u obliku kvadra, ploča, pravih ili lučnih oblika, za portale, za prozore, za stepenice, za uličnе ivičnjake i za ostali konstruktivni građevni materijal. Ovdje spadaju i sitne kocke, prizme za popločavanje ulica i putova.

2 — Nepravilni oblici

Takav je lomljeni kamen koji je grubo obrađen. Veći komadi mogu se upotrijebiti za zidanje temelja i zidova, potpornih zidova, stupova za mostove, za oblaganje riječnih i kanalskih nasipa. Obični lomljeni kamen (manji komadi) upotrebljava se za drenažne kanale, za podloge za putove i za ograde, kao dodatak betonu (tzv. »špar«-betonu). Drobljeni i mljeveni kamen dobiva se drobljenjem u odgovarajućim drobilicama i mlinovima, a nakon toga se prosijava i sortira po veličini zrna pa se dobije tucanik, pijesak, krupica, brašno i sl.

Taj se kamen upotrebljava u građevinarstvu, za asfaltiranje putova i za dobivanje umjetnog kamena i žbuke za fasade.

14.033 UMJETNO KAMENJE

Izrazom »umjetno kamenje« obuhvaćeni su oni proizvodi koji su dobiveni **bez pečenja** uz dodatak nekog veziva (vapna, gipsa, cementa i sl.) i vode usitnjenom prirodnom ili umjetnom materijalu.

Razlikujemo:

1 — Kamenje (opeke) za zidanje

To su:

— opeke od gline, tzv. »ćerpič«
— opeke od vapna i pijeska
— opeke (kamen) od troske ugljena, pijeska i cementa
— opeke (kamen) od troske visoke peći, pijeska i cementa

2 — Lake građevinske ploče za pregradne zidove i izolaciju

Ovamo spadaju:

— ploče od gipsa (sadre) i životinjskih dlaka, pluta, biljnih vlakana i sl.
— ploče od gipsa i troske
— ploče od cementa, troske i pijeska
— ploče od pluta, treseta, drvene vune, biljnih vlakana i cementa
— ploče od drvene vune i cementa (»heraklit«)
— ploče od biljnih vlakana (slame i sl.)

3 — Lagani beton (plinobeton, pjenobeton) za pregradne zidove i izolaciju

Dobiva se:

31 — iz drvene vune, piljevine, slame i cementa

32 — iz prirodnog ili umjetnog plovučca, troskovne vune i cementa

33 — dodavanjem betonu nekog sredstva koje razvija mnogo plinova u momentu kad cement počinje vezati (to je lagani beton, tzv. **»plinobeton«**).

34 — Dodajemo li betonu neko sredstvo koje s vodom stvara pjenu za vrijeme vezanja cementa, dobivamo tzv. **»pjenobeton«** ili **»ćelijasti beton«.**

4 — Umjetno ukrasno kamenje

Dobiva se dodatkom portland-cementa kao veziva agregatu raznog bijelog i obojenog kamenja te mineralne boje i sl., kako bi se postigla što bolja imitacija prirodnog kamenja po izgledu, a ne po sastavu. Tako se dobivaju umjetni granit i pješčar, štuko-mramor, terako, terako-mozaik, okamenjeno drvo (»ksilolit«), ukrasni mortovi (»terabona«, »teranova«) i dr.

5 — Ostalo umjetno kamenje

Ovamo spadaju cementno-azbestni proizvodi (ravne ploče i pločice, valovite ploče, cijevi i sl., tzv. »eternit«, »salonit« i dr.) za pokrivanje krovova, izolacije i sl.:

— kanalizacijske i drenažne cijevi
— cementne pločice za podove
— betonski armirani nosači i stepenice
— crijepovi
— šuplje kamenje
— sifoni
— ivičnjaci itd.

14.034 VATROSTALNI MATERIJALI (VATROSTALNO KAMENJE)

Vatrostalni su oni materijali koji mogu izdržati temperaturu od 1 580°C (za visokovatrostalne materijale 1 790°C) a da pri tome ne omekšaju, ne deformiraju se, ne dobiju pukotine, ne raspadnu se te da su kemijski postojani prema troski, plinovima, parama i kiselinama. Prema tome, talište takvih vatrostalnih materijala mora biti iznad 1 600°C, a moraju osim navedenog izdržati i pritiske koji vladaju u uvjetima eksploatacije.

Razlikujemo:

1 — **prirodne vatrostalne materijale,**
koji se samo mehaničkom obradom mogu dobiti iz prirodnih materijala (sirovina) bez pečenja; takvi su kremeni škriljci, kremenov pješčar i kromne rude;

2 — **umjetne vatrostalne materijale,**
koji se dobivaju jednokratnim ili višekratnim pečenjem na visokim temperaturama, a mogu biti kiseli, bazični i neutralni.

Nadalje razlikujemo:

21 — **Silikatne opeke** (silika-opeke i dinas-opeke), dobivaju se pečenjem samljevenog kvarcita (98% SiO_2) i sl. kojemu je dodano kao vezivo vapno (kod silika-opeka) ili glina (kod dinas-opeka).
Tačka mekšanja je 1 630°C, talište 1 720°C.

22 — **Alumosilikatne opeke**

(sa znatnim sadržajem aluminijeva oksida Al_2O_3)

221 — Šamotne opeke dobivaju se pečenjem smjese šamota (to je pečena vatrostalna glina) i sirove plastične vatrostalne gline kao veziva. Veličina zrna šamota iznosi 0,5—4 mm promjera. Opeke izdrže temperaturu od najmanje 1 600°C.

222 — Kvarcno-šamotne opeke dobivaju se pečenjem smjese šamota i sirove plastične vatrostalne gline, kojoj je dodano još samljevenog kvarcita ili kremenog pijeska. Tačka mekšanja je 1 750°C.

223 — Glinene opeke dobivaju se pečenjem gline sa znatnim sadržajem silicijeva dioksida, SiO_2, bez dodatka šamota.

23 — **Aluminijsko-oksidne opeke**

Tu se ubrajaju:

— boksitne opeke; dobivaju se iz boksita (dijaspora, hidrargilita, glinice) i gline kao veziva
— korundne opeke iz korunda i gline
— silimanitne opeke iz silimanita i gline
— mulitne opeke iz mulita.

Ovamo spadaju i druge opeke, npr. tzv. Dynamidon, Aloxit, Diamantin i dr.

24 — **Kamenje (opeke) iz oksida ili smjesa oksida, magnezija, kalcija, kroma i željeza**

241 — Magnezitno kamenje dobiva se iz smjese pečenog magnezita i veziva (nepečenog magnezita ili drugih veziva). Tačka mekšanja je iznad 1 800°C.

242 — Dolomitno kamenje dobiva se iz smjese pečenog dolomita i veziva.

243 — Forsteritno kamenje dobiva se od magnezijevih silikata uz dodatak pečenog magnezita. Tačka mekšanja je 1 550°C, talište 1 850°C.

244 — Kromitno kamenje dobiva se pečenjem kromita s najmanjim sadržajem od 25 do 45% kromnog oksida Cr_2O_3.
Tačka mekšanja je 1 566°C.

245 — Kromitno-magnezitno kamenje iz usitnjenog magnezita i kromita (npr. »Radex« i dr.).

25 — **Ostali vatrostalni materijali** koji služe za posebne svrhe

251 — Koksni i grafitni materijali dobivaju se pečenjem samljevenog koksa (sa što manje pepela) ili grafita, kojemu je dodano kao vezivo katran ili vatrostalna glina. Peče se pri temperaturi od 1 300°C. Taj je materijal tvrd, netopljiv, otporan prema kiselinama i lužinama, na visokim temperaturama zadržava stalnost volumena, ali je za nj opasna oksidirajuća atmosfera.

252 — Karborundno kamenje
dobiva se pečenjem na 1 300—1 350°C silicijeva karbida (SiC), pomiješanog s glinom. Vrlo je otporno prema baznoj šljaci (Carbofrax-kamenje).
Refrax-kamenje dobiva se sintrovanjem samog karborunda bez ikakva dodatka u električnim pećima.
Oksidirajuća atmosfera je opasna za te materijale.

253 — Cirkonove opeke dobivaju se iz cirkonova oksida ili cirkonova silikata i veziva i dr.
Služe za elektro-izolatore za visoki napon jer još na 2 000°C djeluju kao izolatori, a služe i kao obloga za peći.

14.035 GLINE

14.035.1 Sastav i svojstva gline

Glina je tvar koja nastaje raspadanjem eruptivnih stijena, i to uglavnom feldšpatnih, a sadržava smjesu hidrosilikata aluminija. Karakteristično je njeno svojstvo plastičnost, koja se očituje dodatkom vode. Pri sušenju glina gubi privremeno dodanu vodu, a pri pečenju gubi svoju konstitutivnu vodu. Gline se mogu podijeliti općenito u dvije skupine. U prvu spadaju one koje ostaju na mjestu na kome se nalazi stijena iz koje su one nastale kao proizvodi trošenja, odnosno razgradnje. Takve gline zovemo rezidualnim glinama. Ako je rezidualna glina izložena na površini zemlje utjecaju atmosferilija, voda će je ili nešto drugo odnijeti i taložiti na nekom mjestu. Takve gline zovemo sedimentacijskim glinama.

Gline dijelimo u dvije velike klase:

1 — gline s kristalastim mineralima i
2 — gline s amorfnim mineralima.

U prvu klasu spadaju ove skupine:

1 — **skupina kaolina,** čiji je glavni predstavnik mineral kaolinit ($Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$);

2 — **skupina pirofilita;** glavni sastavni dio glinene supstancije tih glina je mineral pirofilit ($Al_2O_3 \cdot 4\,SiO_2 \cdot H_2O$), a sličan je muskovitu; nastaje raspadanjem feldšpata, a kristalizira u rompskom sistemu;

3 — **skupina montmorilonita;** glavni sastavni dio tih glina je montmorilonit ($Al_2O_3 \cdot 4\,SiO_2 \cdot H_2O + nH_2O$).
Za gline montmorilonitne skupine karakteristično je da su vrlo plastične i da u kontaktu s vodom povećavaju svoju zapremninu 10—16 puta u odnosu prema zapremnini koju su imale u suhu stanju. Montmorilonit pripada skupini pravih gli-

nenih minerala te je uz kaolinit najvažniji glineni mineral, koji ima raznovrsnu primjenu.

Montmorilonit je glavni sastavni dio bentonita. Bentoniti posjeduju niz važnih svojstava. Imaju visoku moć bubrenja, visok volumen sedimentacije i plasticitet.

Uglavnom razlikujemo dvije skupine bentonita: natrijeve i kalcijeve bentonite. Prvi su karakterizirani izrazito koloidalno-kemijskim svojstvima. Napose je karakteristično za natrijeve bentonite da s relativno velikom količinom vode daju **tiksotropne gelove,** a upravo to svojstvo omogućava njihovu primjenu kao plastifikatora za ljevačke pjeskove. Kalcijevi bentoniti slabije su tiksotropni.

4 — **Skupina glinastih liskuna.** Sastavni dio tih glina je mineral **ilit.** One nisu vatrostalne, ali su plastične i prikladne za grubu keramiku i keramiku građevinskih materijala.

U drugu klasu glina spada **skupina alofanskih i alofanoidnih glina,** čiji je glavni sastavni dio **alofan** ($Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 4-5H_2O$). To je amorfan i vatrostalan mineral.

Obične gline onečišćene su raznim primjesama: pijeskom, glinencima, tinjcima, kremenom, vapnencima, željeznim oksidima (koji ih oboje žućkasto, žutocrveno, smeđe i crveno), primjesama organskih materija (koje im daju tamniju boju), koloidnih tvari i dr. Čistih glina, koje imaju znatan sadržaj kaolinita, ima u Kini, u Japanu, u USA, u Engleskoj, Francuskoj, Njemačkoj, kod nas i dr.

Glina sa 99% kaolinita iz Zettlitza kod Karlovih Vary u Čehoslovačkoj uzima se za uspoređivanje pri raznim ispitivanjima glina. Kemijski sastav tog kaolina je:

SiO_2	46,8%
Al_2O_3	38,5%
Fe_2O_3	1,1%
CaO	u tragovima
MgO	u tragovima
$K_2O + Na_2O$	1,4%
H_2O	12,9%.

Glina je osnovna sirovina za grubu i za finu keramiku.

Sama glina nije prikladna za proizvodnju glinene robe jer se pečenjem jako steže. Zato joj moramo dodavati prema potrebi tvari koje će povećati stalnost oblika i volumena, tzv. **mršavila** (pijesak, kremen, usitnjene i samljevene krhotine već pečenih proizvoda itd.), odnosno **taljiva** (topitelje, topioce), tj. tvari koje će olakšati taljenje (to su glinenci, tinjci, kalcijev karbonat, željezni III-oksid Fe_2O_3, titanov oksid TiO_2 i dr., alkalijske soli, odnosno pirit itd.).

Mršava ili **posna** je glina s mnogo nečistoća, za razliku od masne gline. Na glinu nepovoljno djeluje vapnenac $CaCO_3$ ako je primiješan u većim komadima jer pečenjem prelazi u negašeno vapno CaO, koje s vlagom daje gašeno vapno $Ca(OH)_2$, pri čemu se zagrijava i povećava volumen.

Željezni III-oksid (Fe_2O_3) upotrebljava se u proizvodnji bijele robe i glazura radi crvenog obojenja, dok gips i kloridi izazivaju »cvjetanje«.

Glina ima tvrdoću 1 prema Mohsovoj skali tvrdoće. Gustoća joj iznosi oko 2,4 g/cm³. Prema njihovu talištu gline dijelimo:

	Segerov čunj SK broj	Talište u °C
1 — na visokovatrostalne	36	1 790
2 — na jako vatrostalne	33	1 730
3 — na vatrostalne	31—33	1 690—1 730
4 — na poluvatrostalne	26—31	1 580—1 690
5 — na slabo vatrostalne	20—26	1 530—1 580.

Čisti kaolinit ima talište SK 26 (= 1 580°C), a čisti kremen, SiO_2, ima talište SK 35, što odgovara temperaturi od 1 770°C. Smjese kaolinita i kremena imaju manje talište. Glinenci imaju niže talište (npr. ortoklas 1 175°C).

Što je više glinene tvari (kaolinita), talište je više, a što je više glinenca, ono je niže jer djeluje kao taljivo.

14.035.2 Ispitivanje gline

Ono obuhvaća ova ispitivanja:

1 — **Kemijska analiza.** Ne daje dovoljno podataka o kvaliteti gline i njenoj upotrebljivosti za keramičku proizvodnju. Kemijski sastav dviju glina može biti približan, ali njihova svojstva su različita.

2 — **Racionalna analiza.** Daje nam podatke o količini tzv. čiste glinene tvari (kremena i glinenca).

3 — **Ispitivanje plastičnosti** (kugla iz gline i vode spljoštena ne popuca na ekvatoru; postoje i druge metode ispitivanja plastičnosti).

4 — **Ispitivanje veličine čestica.** Postoje tri metode: izmuljivanje gline vodom, sedimentacijom i pomoću sita).

5 — **Sposobnost vezivanja**

6 — **Vatrostalnost** (uspoređivanje tališta gline u pećima s tzv. Segerovim čunjevima)

7 — **Ponašanje gline pri sušenju i pečenju.**

Za finija ispitivanja postoje i druge fizikalno-kemijske metode, rendgenska analiza, određivanje krivulje dehidratacije pomoću termo-vage, diferencijalno-termička analiza (DTA), određivanje kapaciteta izmjene baza itd.

14.035.3 Određivanje vatrostalnih glina pomoću Segerovih čunjeva

Segerovi čunjevi (kratica SK = Segerkegel, prema Hermanu Segeru) ili

Segerove piramide jesu standardizirane male trobridne piramide visine 2,5—6 cm, načinjene iz smjese raznih materijala. Svaka smjesa određenog je sastava, ima svoj SK--broj i stalno talište. Tim čunjevima približno određujemo temperaturu mekšanja i taljenja materijala prema tački mekšanja Segerovih piramida. One nam zamjenjuju termometre. Udomaćili su se u keramičkoj i sličnim industrijama. Zajedno s materijalom koji ispitujemo obično stavljamo u peć po tri piramide s uzastopnim SK-brojevima, npr. broj SK 022 (= 600°C), 021 (= 650°C) i 020 (= 670°C). Ako se piramida broj 022 sasvim polegnula, broj 021 se savija, a broj 020 stoji uspravno, onda temperatura u peći odgovara SK-broju 021, a to je temperatura otprilike 650°C.

Stara serija SK-brojeva razlikuje se od nove serije.

U tablici 1. je dana nova serija SK-brojeva kojima odgovara određeno talište.

14.035.4 Obrada gline

Preporučuje se da se glina prije obrade u gomilama visine 1 m podvrgne smrzavanju kako bi se veći komadi usitnili, izlužile topive soli i tako poboljšala kvaliteta sirovina. Na taj način postiže se razaranje prirodne strukture i homogeniziranje mase. Obrada se sastoji od ovih faza:

1 — Priprema keramičke mase

Obavlja se mehanička obrada (drobljenje, mljevenje, sijanje, mljevenje u kugličnim mlinovima itd.), dodavanje mršavila i drugih dodataka i vode, miješanje, mljevenje, homogeniziranje.

Nova serija oznaka Segerovih čunjeva i njima odgovarajućih tališta u °C

Tablica 1.

SK--broj	Talište u °C	SK--broj	Talište u °C
022	600	9	1 280
021	650	10	1 300
020	670	11	1 320
019	690	12	1 350
018	710	13	1 380
017	730	14	1 410
016	750	15	1 435
015a	790	16	1 460
014a	815	17	1 480
013a	835	18	1 500
012a	855	19	1 520
011a	880	20	1 530
010a	900	26	1 580
009a	920	27	1 610
008a	940	28	1 630
007a	960	29	1 650
006a	980	30	1 670
005a	1 000	31	1 690
004a	1 020	32	1 710
003a	1 040	33	1 730
002a	1 060	34	1 750
001a	1 080	35	1 770
1a	1 100	36	1 790
2a	1 120	37	1 825
3a	1 140	38	1 850
4a	1 160	39	1 880
5a	1 180	40	1 920
6a	1 200	41	1 960
7	1 230	42	2 000
8	1 250		

2 — **Oblikovanje**

Izvodi se ručno na lončarskom kolutu, ili pomoću strojeva, nabijanjem, prešanjem, izlijevanjem u kalupe nešto većih dimenzija radi stezanja.

3 — **Sušenje** prirodno na zraku ili u posebnim uređajima, sušarama, s regulacijom temperature i vlažnosti okolnog zraka.

4 — **Pečenje** nakon provedenog sušenja obavlja se u pećima diskontinuirano ili kontinuirano (poljske peći, krušne peći, komorne i tunelske peći). Njime se mijenjaju fizikalna i kemijska svojstva glina.

Temperature pečenja ovisne su o sastavu upotrijebljenih sirovina.

Pečenje se provodi prema vrsti prozvoda na ovim temperaturama:

	Temperatura pečenja u °C
Za cigle (opeke), crijep, običnu lončarsku robu, fajansa (obična)	850— 980
Za finu fajans-majoliku	1 050—1 070
Za mekani porculan	1 130—1 150
Za kameninu	1 310—1 340
Za tvrdi porculan	1 390—1 400
Za specijalan tvrdi porculan	1 470

Neporozni materijal peče se na višim temperaturama nego porozni.

14.036 KERAMIČKI PROIZVODI

Keramički proizvodi mogu biti bijeli ili obojeni, s glazurom ili bez nje.

Keramičke proizvode dijelimo prema tehničkim svojstvima pečene mase (crijepa) na:

14.036.1 Glinenštinu (njemački: Tongut)

Crijep je porozan, propustan za plinove i tekućine i neprozračan, lijepi se za jezik, tvrdoće je manje od čelika, peče se na nižim temperaturama. Masa je na prijelomu tamna. Ovdje dolazi

1 — Ciglarska roba (ne pali se bijelo):
- cigla
- krovni crijep
- žljebnjaci
- drenažne cijevi
- gradevna terakota

2 — lončarska roba (ne pali se bijelo):
- posuđe
- majolika
- kaljeve oplate (za peći itd.) itd.

3 — vatrostalna roba (pali se bijelo ili svije·lo):
- šamotne opeke
- vatrostalne opeke
- šuplja roba

4 — kamenština (njemački: Steingut, pali se bijelo i svijetlo):
- glinene lule
- dijafragme
- umjetna keramika
- sanitetski proizvodi

14.036.2 Glinenina (njemački: Tonzeug)

Crijep je neporozan, nepropustan za plinove i tekućine, ne lijepi se za jezik, sjajan j: i jedar, tvrdoće je veće od čelika, peče se na visokim temperaturama.

14.036.3 Kamenina (njemački: Steinzeug) — (crijep neproziran)

Ovamo spadaju:

1 — gradevinski materijali (ne pale se bijelo):
- klinker (prepeka)
- keramitne cigle
- keramitne ploče
- cijevi
- kiselostalni materijal

2 — posude i dr. (ne pali se bijelo):
- kade (korita)
- cijevi za kanalizaciju
- pipci, koljena, pumpe
- vrčevi
- umjetni rad

3 — bijela kamenina (pali se bijelo)

14.036.4 Porculan (crijep prozračan)

1 — građevni materijal (pali se bijelo):
- porculanske pločice i žljebnjaci
- kamenje za bubnjeve u mlinovima

2 — tvrdi porculan (pali se bijelo)
meki porculan, azijski (pali se bijelo)
koštani porculan.

Angobiranje (Engobe) je postupak nanošenja tankog sloja bijele ili obojene mase slične osnovnoj masi na sirov, malo prosušen glineni predmet polijevanjem ili štrcanjem u svrhu ljepšeg izgleda i dekorativnog efekta. Bijela angoba priprema se iz bijelih glina i kaolina, a obojeno angobiranje postižemo još dodatkom mineralnih vatrostalnih boja. Preko angobe obično se nanosi prozračna glazura. Na angobirane opeke za fasade ne mora se nanositi glazura.

Glazura se nanosi u tankom sloju na već pečeni keramički predmet da bi se poboljšao izgled te povećale otpornost i nepropusnost za plinove i tekućine. Glazure mogu biti i prozračne (porculanske).

Pripremaju se iz suhih smjesa kvarcnog pijeska, kaolina, feldšpata, soli alkalnih i zemnoalkalnih metala, spojeva olova, kriolita, bazne kiseline i boraksa. Boje se plavo — kobaltnim oksidom, zeleno — kromnim oksidom, žuto — spojevima kadmija ili urana.

Predmet sa svježe nanesenom glazurom mora se osušiti, a zatim se peče na temperaturi potpunog taljenja i razlijevanja glazure.

Fritovanje

Ako u sastav smjese za glazuru ulaze materije otopljene u vodi (npr. soda, potaša, boraks i dr.), onda se glazurna smjesa najprije stali pri pečenju kako bi se otopljene tvari prevele u nerastvorljiv oblik (silikatni, odnosno alumosilikatni).

Emajli, neprozirne glazure, podvrgavaju se fritovanju da bi se izbjegla redukcija oksida olova i kositra pri pečenju glazura.

14.037 PEČENA OPEKA

14.037.1 Cigla

Izrađuje se ručno ili pomoću strojeva. Prema stupnju vlažnosti prilikom kalupljenja opeka i prema načinu kalupljenja razlikujemo izradu opeka:

1 — s dosta vlažnom masom, ručno ili strojno

2 — s malo vlažnom masom, strojno pod pritiskom i prolaženjem kroz otvor dimenzija opeka

3 — s usitnjenim, slabo ovlaženim prahom masa se stavlja u kalupe i preša pod velikim pritiskom (»suhi način«).

Glavna svojstva: čvrstoća na tlak i poroznost. Poroznost se zahtijeva radi boljih izolacijskih svojstava (u porama je uzduh dobar izolator).

Čvrstoća na tlak i upijanje vode građevnog klinkera i opeka

Vrsta	Čvrstoća na tlak	Upijanje vode	Postojanost na mrazu
Građevni klinker	300—350	0—3%	+
Jako pečena opeka	200—250	< 8%	+
Zidna opeka I klase	90—110	> 8%	
Zidna opeka II klase	50— 70	> 8%	
Podna opeka za vanjštinu	65— 80	< 8%	+
Podna opeka za unutrašnjost	65— 80	< 8%	

Vrste opeka:

1 — obična opeka: 25 × 12 × 6,5 cm

2 — opeke za podove: 25 × 12 × 3 cm

3 — lake opeke: 25 × 12 × 6,5 cm; lakše od običnih jer su poroznije (drvene strugotine, piljevina i ugljena prašina pomiješane u materijalu, pri pečenju izgore i ostavljaju pore), minimalna čvrstoća na tlak je 30 kp/cm²

4 — šuplje opeke

5 — fazonske (posebnog oblika) opeke: za gradnju dimnjaka, bunara, svodova i sl.

6 — opeke za oblaganje (fasadne opeke); odlikuju se boljom kvalitetom od običnih (po vrsti materijala, pažljivijoj obradi, pravilnosti oblika), mogu se angobirati i glazirati.

14.037.2 Crijep: ravan, žljebast i previjen (»biber«, holandski, zimski, marseljski, »ćeramida«, »falcovani« itd.). Služi za pokrivanje krovova.

14.037.3 Građevna terakota je skupina proizvoda od jako pečene gline, ravnomjerne crvene ili žute boje, koji se prave u obliku pojedinih arhitektonskih detalja zgrada, npr. umjetničkih figura, vijenaca, kapitela, konzola i sl. Oblikuju se u kalupima od gipsa. Crijep joj je porozan. Često se glazira olovnom glazurom ili angobira. Tvrda je i otporna prema vremenu.

14.037.4 Građevni klinker (prepeke) pravi se od glina koje sadržavaju mnogo SiO_2 Al_2O_3 i Fe_2O_3, a malo CaO (za razliku od cementnog klinkera, koji sadržava mnogo CaO), uz dodatak šamota i sl. Peče se na 1 200°C. Klinker se ubraja u kameninu, crijep mu je neproziran, nepropustan za plinove i tekućine, gust je, ne lijepi se na jezik, kemijski je otporan. Iz njega se prave opeke istog oblika kao i obične. Primjenjuju se za gradnju zidova u vlazi jer su nepropusne za vodu, za oblaganje fasada, kanala, podova, putova, za ivičnjake i sl.

14.037.5 Keramitne opeke dobivaju se iz glina koje sadržavaju i prilično mnogo CaO uz dodatak vatrostalnih glina.

14.037.6 Kaljevi za peći su posebno glazirane ploče koje služe za zidanje sobnih peći. Oblika su ravnog, udubljenog, ispupčenog ili s ukrasima. Prave se od teško taljive gline. Boje su različite: žute, zelene, plave, bijele itd. Redovito su glazirane i angobirane. Crijep im je porozan i jedar. Spadaju u glinenštinu.

14.037.7 Zidne pločice (15 × 15 cm) služe za oblaganje zidova kuhinja, kupaonica, bolnica, čekaonica, industrijskih postrojenja i sl. Prave se od poroznog crijepa (glinenštine), koji je angobiran i glaziran na vanjskoj strani. (Mogu se proizvoditi i od punog neporoznog materijala — kamenine.) Dolaze u raznim bojama: bijele, plave, zelene, crne itd.

14.037.8 Pločice za podove prave se od teško taljivih glina uz dodatak šamotnog praha. Spadaju u kameninu. Crijep im je gust, neporozan. Raznog su oblika i boja (četverokutne, šesterokutne itd.). Upotrebljavaju se mnogo u industrijskim postrojenjima, javnim prostorijama, u kuhinjama i sl.

14.04 VEZIVA

Veziva su prirodne ili umjetno proizvedene tvari, koje s vodom ili s otopinama soli stvaraju masu koja otvrdne i postiže čvrstoću kamena djelovanjem fizikalno-kemijskih procesa.

Služe za spajanje raznog građevinskog materijala, kamenja, cigle i sl., za izradu morta (maltera), žbuke, betona, arhitektonskih elemenata i blokova.

Dijelimo ih ovako:

1 — **Zračna veziva.** Otvrdnu samo na zraku. Na otvrdnjavanje povoljno djeluje suhi zrak jer se pri vezanju izlučuje voda.

Ovamo spadaju:

11 — ilovača
12 — vapno
13 — gips ili sadra
14 — magnezij-cement (Sorel-cement).

2 — **Hidraulična veziva.** Otvrdnu na zraku i pod vodom. Na otvrdnjavanje povoljno djeluje vrlo vlažan zrak, jer se pri otvrdnjavanju stvaraju hidratizirani spojevi uz vezanje vode.

U hidraulična veziva spadaju:

21 — hidraulična vapna
22 — cementi:
- roman-cement
- portland-cement
- visoko-vrijedni portland-cement
- željezni portland-cement
- bijeli cement
- rudni cement
- boksitni cement, taljeni cement (Lafarge-cement)
- Al-cement
- sintetizirani Al-cement
- pucolan-cement
- tras-vapno
- tras-cement
- troska visoke peći.

Pri otvrdnjavanju čitavog niza veziva sudjeluje i ugljična kiselina iz uzduha, a to dovodi do stvaranja karbonata ako se temperatura ne poklapa s graničnim vrijednostima disocijacije tih karbonata.

Neki dijele veziva na anorganska i na organska, prirodna i umjetna.

Anorganska veziva su tvari u obliku praha koje pomiješane s vodom daju ljepljivu masu. Ta masa veže u jedinstvenu cjelinu zrnca (ili vlakna) materijala koji mu se dodaje kao inertni dodatak.

Ljepljivost, plastičnost, obradivost, pokretljivost i elastičnost ovise o stupnju disperziteta veziva i o postojanju koloidnih čestica u njemu.

Obična organska veziva su tvrde ili polutvrde mase crne boje (npr. bitumen, asfalt), koje zagrijavanjem omekšaju, stvarajući ljepljivu i plastičnu masu, koja čvrsto veže zrnca inertnog materijala. Proces otvrdnjavanja tog organskog veziva je čisto fizikalni proces, a povezan je s hlađenjem njegove mase, koja nakon ohlađenja postaje ponovno čvrsta. Temperature mekšanja obično su ispod 100°C.

Specijalna organska veziva na bazi plastičnih masa, koja se u novije vrijeme upotrebljavaju npr. za stabilizaciju tla injektiranjem, za izradu građevinskih elemenata žbuke i sl., iako su interesantna, još se ne upotrebljavaju zbog nedostupnosti i cijene koštanja. U organska veziva neki ubrajaju i ljepila i tutkalo, koji su obrađeni u posebnom poglavlju. (Vidi: »Ljepila«.)

14.041 ILOVAČA ja najstarije i najprimitivnije zračno vezivo. Pomiješana s vodom daje blato (mulj), koje se može upotrijebiti za izradu zidnog morta, za vezanje zrna pijeska, vlakna slame, kučine i sl. te za popunjavanje šupljina između opeka. Sušenjem gubi vodu i otvrdne, a pod utjecajem vode opet se raskvasi. Neotporna je prema vodi i atmosferilijama. Male je čvrstoće na tlak i na kidanje. Može se opravdano primijeniti u nekim slučajevima kad se radi o provizornim objektima.

Mehanizam vezanja potpuno je fizikalan proces.

14.042 VAPNO je najraširenije vezivo za izradu morta (maltera). Dobiva se pečenjem vapnenca, $CaCO_3$, na temperaturi od 1 000°C. Tako dobiveno živo vapno gasi se vodom.

Praktički se iz 100 kg vapnenca dobije oko 50 kg CaO.

Masno dobro vapno povećava pri gašenju svoj volumen za 2,5 puta.

Gašeno vapno veže velike količine pijeska i otvrdne približno za 15 dana u čvrstu masu

14.043 GIPS ILI SADRA

U prirodi dolazi kao kalcijev sulfat sa dvije molekule kristalne vode, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Sušenjem, odnosno pečenjem otpušta tri četvrtine svoje kristalne vode i prelazi u »poluhidrat«, $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$ (pečeni gips), koji lako prima vodu i prelazi u početno stanje (gustoća 2,31—2,33 g/cm³, a tvrdoća po Mohsu 1,5—2).

Poluhidrat (hemihidrat) uzmuljen s vodom veže vrlo brzo, za nekoliko minuta. Obično se upotrebljava sam, bez dodatka pijeska. Pri tome nastaju iglice, koje se isprepletu i daju čvrstu masu. Povećanje volumena iznosi oko 1%.

Ovisnost svojstava gipsa o temperaturi pečenja

Tablica 1.

Naziv	Temperatura sušenja, odnosno pečenja	Vezanje
Prirodni gips Modelarski gips Alabaster-gips Kiparski gips	na zraku sušen 107—180°C	Ne veže. Brže ili sporije prema zaostaloj kristalnoj vodi.
Štukaturni gips Građevinski gips	107—300°C	Sporo veže, ali odljev ima veliku čvrstoću.
Brzo vežući gips	317—450°C	Brzo veže, odljev nema nikakve čvrstoće.

Naziv	Temperatura sušenja, odnosno pečenja	Vezanje
Prepečeni gips	500—750°C	Ne veže! Gubi svu kristalnu vodu, sastav $CaSO_4$.
Normalan estrih-gips s nešto CaO Gips za podove	800—1 000°C	Veže polagano 24 sata i dulje, ali daje mnogo čvršći odljev.
Mutno pečeni gips Estrih gips s većim količinama »slobodnog vapna«	1 000—1 200°C 1 200—1 400°C	Ne veže. Veže brže od normalnog estrih-gipsa; sastav: $CaSO_4$ + CaO (CaO nastaje kao čvrsta tvar raspadom $CaSO_4$ na CaO i SO_3, koji je hlapljiv).

Tvrdi alabaster (»mramorni cement«) je običan građevinski gips natopljen alaunom, kalijevim aluminijevim sulfatom, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ i ponovo pečen na 500—1 000°C, zatim samljeven u fini prah. Služi kao vezivo za ispunjavanje spojnica zidnih pločica, kao ukrasni mort i sl.

14.044 MAGNEZIJA-CEMENT ili SOREL-CEMENT je smjesa magnezijeva oksida, MgO i magnezijeva klorida, $MgCl_2$, koja služi kao vezivo. Ako se Sorel-cementu dodaje drvena piljevina, usitnjeno pluto, azbest, milovka i sl. kao punilo, dobivaju se proizvodi za gradnju podova pod raznim imenima, npr. kameno drvo, ksilolit, teralit, ksilopal.

14.045 HIDRAULIČNA VAPNA čine prijelaz između vapna i cementa jer vežu sporije i slabije od cementa. Imaju svojstvo vezanja pod vodom. Sporo se gase uz malo povećanje volumena. Dobivaju se pečenjem lapora, vapnenaca koji sadržavaju 6—22% gline ili sličnih smjesa kod 600—800°C, tj. ispod tačke sintrovanja.

Dijelimo ih ovako:	Hidraulični modul	Hidraulični indeks	Vrijeme vezivanja u danima	Postotak gline
Slabo hidraulična vapna	6,4 —10,6	0,10—0,15	14—21	5—8
Srednje hidraulična vapna	3,1 — 6,4	0,15—0,30	7—14	8—15
Hidraulična vapna	2,2 — 3,1	0,30—0,38	2—4	15—19
Jako hidraulična vapna	1,99— 2,2	0,38—0,50	< 30h	19—21

14.046 CEMENTI

Cementi su hidraulična veziva koja na zraku i pod vodom otvrdnu reagirajući s vodom. Obrađuju se lako i brzo, otporni su pod vodom, svestrano su upotrebljivi i spadaju među najsavršenije građevinske materijale.

Razlikujemo ove vrste:

14.046.1 Portland-cement

Dobiva se u tri faze:

1 — miješanje sirovina, 2 — pečenje i 3 — mljevenje pečenog poluproizvoda, tzv. klinkera. Sirovina za portland-cement sastoji se od 75% vapnenca i 25% gline ili lapora. Glina se fino samelje, homogenizira i peče u rotacijskim pećima do sintrovanja na temperaturi od 1 450°C. Tako dobiven »klinker« fino se samelje pa se dobiva portland-cement zelenkastosive boje.

Svojstva cementa zavise od njegovih hidrauličnih faktora: s mnogo SiO_2 polako vežu i daju veliku čvrstoću; s mnogo Al_2O_3 brže vežu, a višak Fe_2O_3 čini cement otpornijim prema kemijskom djelovanju.

Kemijski procesi počinju odmah poslije miješanja cementa s vodom te dovode do stvaranja sve većeg broja novih spojeva, u početku u veoma disperznom (koloidnom) stanju, a kasnije se zgušnjavaju, kristaliziraju i rekristaliziraju, stvarajući sve zbijeniju strukturu, te konačno prelaze u čvrst kamen.

Potland-cementa imamo dvije vrste:

1 — običan portland-cement i

2 — visokovrijedan portland-cement.

Kod tog drugog se sirovine pažljivije odabiraju, bolje peku i mnogo finije melju (razlika od običnog cementa).

Visokovrijedni portland-cement brže se veže od običnog portland-cementa. Prema **vremenu vezanja** razlikujemo:

vrijeme vezanja	vrsta cementa
15 minuta	brzo vežući
15—60 minuta	srednje vežući
Više od 60 min	sporo vežući (npr. običan i visokovrijedan potland-cement)

Vrijeme vezanja regulira se dodatkom gipsa.

Bijeli cement, bijela vrsta portland-cementa, dobiva se iz sirovina s manje od 0,7% željeznog oksida.

Nepromočivi cement (N-cement, antiaqua, Sicofix), nepropustan za vlagu i vodu, dobiva se tako da se još vrućem klinkeru dodaju razni voskovi, stearin i sl.

Željezni portland-cement sastoji se od smjese 70% portland-cementa i 25—30% troske visoke peći. Jeftiniji je od portland-cementa. Otporan je prema morskoj vodi.

14.046.2 Cement visoke peći

To je smjesa od 31 do 85% bazične troske visoke peći pri dobivanju sirova željeza i 69—15% portland-cementa. Otporan je prema morskoj vodi.

14.046.3 Sulfatno-metalurški cement

Sastoji se od fino samljevene bazne troske visoke peći pomiješane sa 5% portland-cementa i 12—18% gipsa kao aktivatora uz eventualni dodatak vapna. Neznatno se skuplja, otporan je prema sulfatnim vodama, pri očvršćivanju oslobađa najmanju količinu topline. Osjetljiv je pri radu na nižim temperaturama, prema preranom sušenju i prema utjecaju ugljične kiseline iz zraka.

14.046.4 Roman-cement

Dobiva se pečenjem lapora na 900—1 000°C. Ima manje vapna u soli od portland-cementa, a čvrstoća mu je za polovinu manja od čvrstoće tog cementa pa se danas slabo upotrebljava. Vrijeme vezanja je 7—20 minuta.

14.046.5 Boksitni cement (taljeni cement, Lafarge-cement [Lafarž], glino-cement, Al-Ca-cement). Dobiva se pečenjem vapnenca i boksita na 1 650°C. Skuplji je 5—6 puta od portland-cementa. Pri očvršćivanju oslobađa najvišu količinu topline. Vezanje počinje nakon 4—5 sati, a svršava nakon 6—6,5 sati. Brzo očvrsne. Nakon 10 sati može se u punoj mjeri opteretiti. Upotrebljiv je za popravke mostova i drugih objekata jer skraćuje vrijeme remonta.

14.046.6 Mineralni (rudni) cement

To je portland-cement s većom količinom Fe_2O_3. Otporan prema sulfatnim otopinama.

14.046.7 Pucolan-cement ili tras-cement (vulkanski cement) izrađen je od portland-cementa s dodatkom trasa, vulkanske lave. Otporan prema morskoj vodi.

14.046.8 Ekspanzivni cement pri očvršćivanju povećava volumen pa se upotrebljava pri gradnji tunela za popunjavanje pukotina, rupa i sl. Sadržava aktivator kalcijev aluminijev sulfat.

Kemijski sastav standardiziranih cemenata (približan)

Tablica 2

Sastojine	Portland-cement u %	Željezni portland-cement u %	Cement visoke peći u %	Sulfatni metalurški cement u %	Karakter sastojine
Kalcijev oksid, CaO	60–65	55–60	43–55	38–40	bazične sastojine
Magnezijev oksid, MgO	2–3	2–3	2–9	2–7	
Silicijev oksid, SiO_2	19–22	23–26	26–28	26–27	kisela sastojina
Aluminijev oksid, Al_2O_3	6–7	6,5–7,5	7–12	12–13	
Željezni (III) oksid, Fe_2O_3	2–3	2–3	1,5–2,5	1–1,5	»hidraulični faktori«
Sumporni trioksid, SO_3	2–3	2–2,5	2–3	7–8	
Gubitak žarenjem ($H_2O + CO_2$)	ostatak	ostatak	ostatak	ostatak	

14.047 ISPITIVANJE VEZIVA

14.047.1 Vapno negašeno (živo)

1 – kemijska analiza – određuje se:
- vlaga
- gubitak žarenjem
- CO_2
- SiO_2
- SO_3
- Al_2O_3 i Fe_2O_3
- CaO
- MgO

2 – stalnost na zraku (vrijeme potrebno da se vapno na zraku samo ugasi i raspadne)

3 – moć vezanja (čvrstoća dobivena vezanjem jednog dijela vapna i tri dijela normalnog pijeska)

4 – finoća mliva (granulometrijski sastav)

5 – randman (izdašnost)
(broj litara vapnene kaše dobivene iz 5 kg živog vapna)

14.047.2 Cement

1 – kemijska analiza – određuje se:
- vlaga
- gubitak žarenjem
- netopljivi dio, Fe_2O_3, SO_3

2 – mehanička ispitivanja obuhvaćaju:
- zapreminsku težinu u rastresitom i zbijenom stanju
- gustoću (specifičnu masu)
- finoću mliva
- vrijeme vezanja
- stalnost zapremnine
- bujanje cementa
- čvrstoću cementa.

14.05 MORTOVI (MALTERI)

Mortovi su građevne smjese plastične konzistencije sastavljene od veziva, inertnog materijala i vode.

Vezivo je vapno, cement, gips, glina.

Inertni materijal: pijesak, troska, plovučac.

Mortove dijelimo:

1 – na zračne (vežu samo na zraku)

2 – na hidraulične (vežu na zraku i pod vodom)

3 – na otporne prema visokim temperaturama.

Prema upotrijebljenom vezivu mortovi mogu biti:

1 – vapneni

2 – gipseni

3 – cementni

4 – produžni (sastoje se od dva ili više veziva: vapna i cementa, gline i cementa itd.).

Prema upotrijebljenom inertnom materijalu postoje:

1 – pješčani mortovi

2 – troskini mortovi

3 – mortovi od plovučca.

Prema primjeni:

1 – mortovi za zidanje
(povezivanje opeka ili kamena)

2 – mortovi za oblaganje zidnih površina (žbuke).

Očvršćivanje mortova nije ograničeno samo na prosto sušenje, već je to i rezultat kemijskog procesa neutralizacije između kalcijeve lužine i ugljične kiseline iz uzduha, pri čemu se postepeno stvara kalcijev karbonat, $CaCO_3$ i voda: $Ca(OH)_2 + H_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O$.

Takvi su mortovi pri očvršćivanju zapremninski postojani, ne stežu se i ne šire.

Inertni materijali ne sudjeluju u procesu otvrdnjavanja; mortove čine poroznima kako bi ugljična kiselina iz atmosfere mogla kroz njih prodirati. Oni im povećavaju čvrstoću.

Brzina očvršćivanja mortova ovisi u znatnoj mjeri o okolnoj temperaturi i relativnoj vlažnosti uzduha.

Omjer miješanja mortova označava se uvijek u volumnim dijelovima u omjeru 1 : n, što znači da na 1 dio veziva dolazi n-dijelova inertnog materijala. Kod miješanih mortova omjer 1 : 0,5 : 5 znači: 1 dio cementa prema 0,5 dijelova vapna prema 5 dijelova inertnog materijala (npr. pijeska).

Količina vode se ne navodi, ali se dodaje u količini koja osigurava najpovoljniju plastičnost.

14.051 SVOJSTVA MORTOVA

Najvažnija svojstva mortova jesu:

1 — plastičnost ili konzistencija (pokretljivost mase morta)

2 — obradivost (rasprostiranje u obliku ravnomjernog tankog sloja ispunjavanjem udubljenja i neravnina ispod sebe)

3 — sposobnost zadržavanja vlage (dugo zadržavanje olakšava obradivost, lako ugradivanje na kompaktnim i poroznim površinama i homogenost morta)

4 — prianjanje (adhezija)
(prianjanje morta u svježem stanju omogućuje nabacivanje slojeva na zidove i plafone bez mogućnosti da mort uslijed vlastite težine može pasti)

5 — stezanje (nepovoljno kod mortova za žbukanje površina)

6 — postojanost na mrazu
(važno za fasade!).

14.052 VRSTE MORTOVA

Mort od ilovače (blatni mort)
Vidi 14.041.

Omjer miješanja morta po volumenu

Naziv morta	Sastav morta	Omjer miješanja
1 — Vapneni mort od		
11 — masnog vapna	vapno i pijesak	1 : 4—1 : 5
12 — srednjeg vapna		1 : 3—1 : 4
2 — Vapneno-glineni mort od vapna	vapno, glina i pijesak	
21 — masnog vapna		1 : 0,5 : 6
22 — srednjeg vapna		1 : 0,4 : 5
3 — Mortovi od vapna i mljevenog praha od opeke	vapno, mljevena opeka i pijesak	
31 — masnog vapna		1 : 0,3 : 5
32 — srednjeg vapna		1 : 0,3 : 4
4 — Vapneni mort od hidrauličnog vapna	hidraulično vapno i pijesak	1 : 3

Vapneni mortovi

Primjenjuju se za zidanje opekom ili kamenom (do — 2°C), za žbukanje zidnih površina (iznad 0°C). Ako se radi pri niskim temperaturama, tim mortovima nekad se dodaje bezvodni natrijev karbonat, Na_2CO_3, a pri vrlo niskim temperaturama živo vapno neposredno prije upotrebe u omjeru 1 dio gašenog vapna : 3 dijela pijeska : 3/4 dijela živog vapna. Uz normalne temperaturne uvjete omjer miješanja može biti 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4, što zavisi o primjeni.

Upotrijebljena voda mora biti čista i bez soli.

Ti mortovi mogu se upotrijebiti samo ondje gdje je osiguran pristup uzduha (nije za zidove u temeljima!). Odveć masni vapneni mort ne preporučuje se jer pri otvrdnjavanju puca i steže se. Čvrstoća morta ovisi o svim sastojcima.

Gipseni mort služi za žbukanje unutrašnjih površina zidova i plafona u dekorativne svrhe bez dodatka pijeska u omjeru 3 težinska dijela gipsa i 2 dijela vode ili s dodatkom pijeska ili vapna. Pri pripremi tog morta gips se mora sipati u vodu, dobro pomiješati i onda dodavati gašeno vapno. Osobito čvrst čisti gipseni mort dobije se dodatkom otopine tutkala u vodi i govedskih dlaka.

Vezivanje gipsenog morta

1 — Ubrzavaju ga: kuhinjska sol, magnezijev klorid, amonijak i topla voda.

2 — Usporavaju ga: tutkalo, boraks, alkohol, mlijeko, alaun, kalcijev klorid.
Povećavaju čvrstoću: tutkalo, gašeno vapno u prahu i gorka sol, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

Cementni mort je smjesa cementa, pijeska i vode. Cement i pijesak dobro se izmiješaju u suhu stanju pa se tek onda dodaje voda. Omjer miješanja cementa i pijeska je različit prema primjeni. Upotrebljava se za zidanje jako opterećenih zidova, za zidanje pod vodom i na mjestima gdje ne dopire uzduh (zidovi temelja).

Produžni mort sastoji se od gašenog vapna i cementa kao veziva, pijeska i vode. Omjer miješanja zavisi od primjene (npr. 1 težinski dio cementa + 0,5—2 težinska dijela gašenog vapna, a često i 1/7 cementa od količine vapna).

Produžni mort upotrebljava se kad čvrstoća vapnenog morta nije dovoljna, a upotreba cementnog morta nije opravdana.

Zaštitni mortovi protiv rendgenskih zraka. Smjesa se sastoji od portland-cementa ili vodenog stakla (amalit-mort) kao veziva i baritova praha ili baritova pijeska (s najmanje 85% barijeva sulfata, $BaSO_4$). Omjer miješanja cementa i barita je 1 : 6 ili 1 : 9.

Akustični mortovi od cementa, vapna i gipsa te poroznih materijala (plovučac, troska i sl. primjenjuju se pretežno u kazalištima, u koncertnim dvoranama, kino-dvoranama, u predavaonicama i sl. da bi se postigli akustični efekti, uklonili odjek i štetne rezonancije itd.

Mortovi nepropusni za vodu

1 — To su gusti mortovi iz cementa i pijeska dobiveni tzv. torkretiranjem (nabacivanjem pod pritiskom od 3—5 atm). Omjer umiješanja 1 : 3 do 1 : 5. Čvrstoća na tlak tog morta iznosi 300—500 kp/cm².

2 — **Cerezitni mortovi** sastoje se od cementnog morta kome je dodan Cerezit (pasta od vapnenog sapuna nekih masnih kiselina, napose oleinskih).

14.06 BETON

Beton je umjetni kameni materijal koji nastaje otvrdnjavanjem smjese sastavljene od pijeska, šljunka, cementa i vode.

Za razliku od morta, beton je sastavljen ne samo od pijeska već i od krupnog agregata, šljunka koji ostaje na situ s otvorima od 7 mm promjera, a prolazi kroz sito s otvorima od 70 mm promjera (30 mm za armirani beton).

14.061 VRSTE BETONA

Prema **gustoći** beton dijelimo ovako:

1 — **Vrlo teški beton** (gustoća 3,0 do 5,0 kg/dm³) s dodacima barita i čelika. Primjenjuje se za opterećene objekte, npr. kod napetih elektro-vodova, uz apsorpciju gama-zraka, kod atomskih reaktora i sl.).

2 — **Teški beton** (gustoća 1,8—2,8 kg/dm³) s dodacima pijeska, šljunka, krhotina, tucanika i troske visoke peći. Odlikuje se gustim sastavom, čvrstoćom i nepropusnošću za vodu.

Primjenjuje se za betonske i betonsko-čelične konstrukcije u visokogradnji, niskogradnji i u hidrogradnji, za armirane pokrivne površine i zavjese te za razne betonske proizvode. Ima vrlo visoku čvrstoću na tlak, dok su čvrstoće na vlak, na savijanje, na odrez i na klizanje mnogo ograničenije. Protiv habanja zaštićuje se slojem koji sadržava dodatke otporne prema habanju, kao što je korund Al_2O_3 — i silicijev karbid, SiC.

3 — **Laki beton** (gustoća 0,3—1,6 kg/dm³) poroznog je sastava, s čime je u vezi niža gustoća. Sastoji se od prirodnog plovučca, vapnenog trasa, metalurške troske, vulkanske troske granulirane fosforne troske (sintoporit) itd.

Ovamo spadaju:

gipseni beton, (smjesa štukaturnog gipsa, vode i lakih dodataka)

porozni beton ili **ćelijasti beton** (s finozrnatim dodacima)

plinobeton (uz dodatak aluminijeva praha finoj betonskoj masi, kalcijeva klorida, klornog vapna i vodikova peroksida)

pjenobeton (uz dodatak neutralnih tvari koje daju dobru pjenu, površinski aktivnih tvari).

Prema **sadržaju vode** u betonu razlikujemo:

1 — **Tvrdi beton** (sa 4—7% vode)

Mala pokretljivost čestica. Pri ugradnji potrebno je jako nabijanje (nabijeni beton) ili vibracije (izolacijski beton).

2 — **Meki beton** (plastični beton, sa 8—10% vode). Srednja pokretljivost čestica; pri ugradnji umjereno se nabija ili probada posebnim alatom.

3 — **Tekući beton** (sa 11—13% vode). Vrlo pokretljive čestice, koje se uopće ne daju nabijati. Pri ugradnji ulijeva se u kalup (»lijevani beton«).

Svježi beton je pokretan ili već zgusnut, ali još nevezan beton.

Čvrsti beton je već otvrdnuti beton.

Armirani beton je beton pojačan konstruktivnim čelikom (šipke, mreže i sl.). Beton preuzima naprezanje na tlak, a čelik na istezanje. Ta upotreba čelika omogućena je s obzirom na to što čelik ima isti koeficijent rastezanja kao i beton. U ovome je čelik relativno postojan prema koroziji, a osim toga beton dobro prianja uz čelik.

14.062 SVOJSTVA BETONA

Svojstva betona ovisna su:

1 — **o vrsti, kvaliteti i količini cementa**

Količina primiješanog cementa ima odlučan utjecaj na čvrstoću betona. S povećanjem količine cementa povećava se i čvrstoća betona, ali ta količina ima određenu granicu (350—450 kg cementa na 1 m³ betona). Količina cementa izražava se u volumnim ili težinskim jedinicama. Težinske jedinice su tačnije, a volumne praktičnije pri radu.

Kvaliteta i vrsta cementa također utječu na čvrstoću betona.

2 — **o vrsti, kvaliteti, obliku zrna i granulometrijskom sastavu agregata**

Tucanik oštrih bridova bolje se veže s cementom od šljunka te daje 10—15% čvršće betone od šljunka.

Na kvalitetu betona utječu i granulometrijski sastav i veličina zrna agregata.

3 — **o količini primiješane vode**

Voda za izradu betona mora biti čista, bez organskih sastojina, bez kiselina, soli i drugih štetnih sastojina. Postoje optimalne količine dodane vode betonu s obzirom na upotrebu i stupanj obradivosti. Povećanje količine vode iznad određenog iznosa smanjuje čvrstoću betona.

4 — **o omjeru miješanja cementa** i vode (vodo-cementni faktor)

Omjer miješanja vode i cementa za određenu vrstu betona i određenu primjenu mora ostati stalno isti. Vodo-cementni omjer ovisi djelomično i o vrsti agregata, koji zahtijeva nekad veću, nekad manju količinu vode.

5 — **o temperaturi**

Čvrstoća betona ovisi o temperaturi koja postoji prilikom vezivanja i otvrdnjavanja. Niske temperature usporavaju očvršćivanje, dok visoke povećavaju čvrstoću betona. Pri ugradnji betona na niskim temperaturama preporučuje se zagrijavanje vode i agregata kako bi se dobio dobar i čvrst beton. U tom slučaju stoje nam na raspolaganju i neka kemijska sredstva, kao što su kalcijev klorid, $CaCl_2$ —; aluminijev klorid, $AlCl_3$ i dr., koja snizuju ledište vode i djeluju na čvrstoću betona.

6 — **o načinu pripreme i ugrađivanja betona**

Način pripreme i miješanje sastojina za izradu betona, kao i način ugradivanja i nabijanja gotovog betona utječu na njegovu čvrstoću, npr. vibriranje betona pri ugradnji omogućuje postizanje odlične gustoće i velike čvrstoće.

Kemizam očvršćivanja betona

Fizikalno-kemijski procesi koji se pri očvršćivanju betona zbivaju u stvari su istovetni s onima pri vezanju cementa (vidi: 14.046).

14.063 KOROZIJA BETONA

Osnovni zahtjev koji se postavlja na beton jest povećanje njegove trajnosti. Beton je, kao i drugi materijali, izložen propadanju. O faktorima (unutrašnjim) koji utječu na kvalitetu betona i na njegovu primjenu prilikom pripreme i ugradnje već smo govorili. Ovdje ćemo spomenuti vanjske, okolne faktore koji štetno utječu na beton i ubrzavaju njegovo propadanje.

Osnovna sastojina cementa i betona je kalcijev oksid, CaO, koji s vodom stvara $Ca(OH)_2$. On je baza pa na njega mogu štetno djelovati kiseline. Lužine su bezopasne ili manje opasne. One djeluju štetno na aluminatne cemente.

Korozija betona, napose hidrotehničkog, može nastati:

1 — **uslijed djelovanja vode**

11 — meke vode bez slobodne ugljične kiseline

12 — vode s agresivnim CO_2

13 — vode koja sadržava magnezijeve i amonijeve soli

14 — sulfatne vode

15 — vode s limunskom kiselinom

16 — morske vode

2 — **uslijed djelovanja soli**
(klorida, sulfata i dr.)
3 — **uslijed djelovanja kiselina**
(octene, sumporne, dušične, solne itd.)
4 — **uslijed djelovanja lužine**
(natrijeve, kalijeve)
5 — **uslijed djelovanja ostalih tvari**
(vegetabilna i životinjska ulja i masti; mineralna ulja s kiselim sastojinama, npr. fenolima itd.).

Svaki slučaj pojave korozije na betonu treba posebno ispitati i odrediti uzroke koji su doveli do oštećenja kako bi se mogla provesti adekvatna zaštita. Postoji niz zaštitnih sredstava i mjera koje se s više ili manje uspjeha primjenjuju u praksi.

14.07 STAKLO

Staklo je u tehničkom smislu homogena, nekristalizirana (amorfna), krta tvar, koja nastaje iz taline. Ono ima visoku prozirnost, neznatnu toplinsku i električnu vodljivost, veliku postojanost prema atmosferi, vodi i većini drugih otopina. Lako se oblikuje na višim temperaturama. U kemijskom pogledu to je smjesa silikata.

Tvrdoća po Mohsu je 5—7.

Čvrstoća na vlak iznosi 300—800 kp/cm², čvrstoća na tlak 6 000 do 12 000 [kp/cm², modul elastičnosti oko 650 000—900 000 kp/cm², gustoća 2,2 do 6 g/cm³, specifična toplina 0,08 do 0,23 kcal/kg, toplinsko istezanje 0,5 do $12 \cdot 10^{-6}$ stup^{-1}, toplinska vodljivost oko 180 do $200 \cdot 10^{-5}$ stup^{-1} cm^{-1} s^{-1}, indeks loma oko 1,33 do 2,1.

14.071 VRSTE STAKLA

Prema **sastavu** staklo dijelimo ovako:
1 — natrij-kalcijevo staklo, tzv. normalno staklo
2 — kalij-kalcijevo staklo
3 — natrij-kalij-kalcijevo staklo
4 — bor-aluminijevo staklo
5 — kalij-olovno staklo
6 — specijalno staklo.

Prema **načinu izrade i primjeni** dijelimo ga ovako:
1 — šuplje prešano staklo
2 — lijevano staklo
3 — staklo u boji
4 — staklo u štapovima
5 — staklo u cijevima
6 — vatrostalno staklo
7 — neutralno staklo itd.
8 — ravno staklo
9 — obično prozorsko staklo
10 — brazdasto staklo
11 — ornament-staklo
12 — katedral-staklo
13 — matirano (mlječno) staklo.

Specijalne vrste stakla jesu:
1 — optičko staklo
2 — kemijsko staklo
3 — medicinsko staklo
4 — filtrir-staklo
5 — signalno staklo
6 — marmorit-staklo
7 — nesalomljivo staklo
8 — staklena pjena
9 — staklena vuna (vidi: umjetna vlakna).

Sastav nekih vrsta stakla Tablica 1.

Vrsta stakla	U postotku								
	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	BaO	B_2O_3	ZnO
Normalno rusko NSl	73,0	4,5	8,5	2,0	7,0	1,0	—	4,0	—
Jensko	75,46	4,88	6,58	1,2	1,20	—	3,60	7,08	—
Češko neutralno	72,45	6,86	10,40	—	3,24	0,36	2,33	4,36	—
Poljsko neutralno	68,51	3,80	9,74	—	3,83	2,50	3,00	6,25	2,37
Njemačko »Ultra«	69,82	3,51	12,45	1,83	6,06	3,79	1,69	0,85	—
Tirinško	68,5	3,2	14,2	6,3	7,1	—	—	—	—
Normalno jensko za termometre	67,3	2,5	14	—	7	—	—	2	7
Borosilikatno za termometre kod 500°C s dušikom	72	5	11	—	—	—	—	12	—
»Pyrex«	80,7	3,5	4,0	—	0,7	0,6	—	10,5	—
»Supremax« (Schott undGen.)	56,4	20,1	0,6	0,6	4,8	8,7	—	8,9	—

14.072 SIGURNOSNO STAKLO

Sigurnosno staklo za automobile, avione i sl. nasuprot običnom staklu povisuje sigurnost prema rasprskavanju staklenih krhotina i tjelesnim oštećenjima, napose očiju i lica, pri lomu, požaru i sl.

Imamo tri vrste sigurnosnih stakala:
1 — jednoslojno silikatno staklo
2 — višeslojno silikatno staklo
3 — prozirno staklo od plastičnih masa.

Pri dobivanju tog stakla normalno izrezani komadi kristalnog stakla žare se na 600°C i naglo hlade u hladnoj struji zraka. Na taj način staklo dobiva na površini jaka naprezanja, koja pet puta povisuju čvrstoću na savijanje, neosjetljiva su na temperaturne promjene i postižu elastičnost.

14.073 DOBIVANJE STAKLA

Proizvodi od stakla dobivaju se putem ovih faza:

1 — Priprema smjese i taljenje

Sirovine se usitne u prah i prosiju kroz sita da se dobije tražena veličina zrna, a zatim se homogeniziraju i ponovo prosiju.

Pripremljena masa postepeno se zagrijava i tali u pećima na temperaturi iznad 1 400°C. Peći su obložene vatrostalnim materijalima, čije je talište više od staklene mase. Vatrostalni materijal mora biti kemijski rezistentan prema staklenoj masi. Da bi se mogla oblikovati; masa se hladi otprilike do 800°C (ovisno o vrsti staklene mase).

2 — Oblikovanje mase

Masa se oblikuje puhanjem, prešanjem, izvlačenjem i valjanjem prema vrsti proizvoda koji treba da se dobiju.

3 — Završna obrada

U završnoj obradi uklanjaju se sitne ivice i odljevci te uljepšava i dotjeruje izgled pojedinog stakla (brušenje, graviranje, poliranje).

4 — Nagrizanje

Nagrizanje fluorovodičnom kiselinom ima svrhu da se dobiju određene šare.

5 — Matiranje stakla izvodi se kemijski i mehanički mlazom pod pritiskom finog pijeska.

6 — Bojenje stakla — izvodi se na površini hladnim ili vrućim postupkom na otprilike 700°C.

14.074 BOJENJE STAKLA

Proizvedeno staklo je kod čistih sirovina bezbojno, ali od primjesa koje dolaze u sirovinama može se zahtijevati određena boja u svrhu dekorativnog izgleda ili kao zaštita od zračenja, npr. ultravioletnih zraka i dr. Tada im dodajemo tvari koje će ga obojiti.

Dodaci koji staklu daju boju jesu:

spoj	boja
MnO_2	ljubičasta
$KMnO_4$	ljubičasta
K_2CrO_4	zelena
Na_2CrO_4	zelena
$Na_2Cr_2O_7$	zelena
FeO	plavozelena
Fe_2O_3	zelena
CdS	žuta
Ag	zlatnožuta
Se	ružičastocrvena
Au	ružičastopurpurna
$AuCl_3$	purpurna
Cu_2O	crvena poput rubina
CuO	zelenoplava
CoO	plava
Co_2O_3	plava
MO_2	crna

14.08 KOŽA

Obrađenom kožom naziva se životinjska koža koja, stavljena u vodu i nakon toga osušena, ne postaje tvrda i kruta, nego meka i gipka. U prisutnosti hladne vode nije izložena propadanju (truljenju), a pri kuhanju s toplom vodom ne daje tutkalo (ljepak). Prema tome, procesom štavljenja dobiva se obrađena koža, koja se sastoji od životinjskih sirovih koža i štavila. Štavljenjem se postiže očvršćivanje i ukrućivanje vlakna, koje je uvjetovano mnogostrukim vezanjem djelića štavila (tj. sredstva za štavljenje) s molekulama bjelančevina iz sirove kože.

14.081 ANATOMIJA KOŽE

Na poprečnom prerezu kod kože razlikujemo tri glavna dijela:

1 — gornji sloj = pokožica (nadusmina, pousmina, epidermis)
2 — srednji sloj = kožno tkivo (usmina, derma, cutis, corium)
3 — donji sloj = potkožno tkivo (podusmina, mesina, mezdra, puzdra, mješina, subcutis, hipoderma).

1 — **Pokožica** (epidermis) je površinski dio kože, iznosi 1/100 debljine čitave kože. Sastoji se od najgornjeg **rožastog sloja** umrtvljenih stanica i donjeg **sluzastog sloja** živih stanica. Sluzasti sloj dijeli se na gornji **zrnati sloj** i na donji **sloj zametaka,** u kojemu nastaju stanice, a razvijaju se u zrnatom sloju. U upuštenim mjestima pokožice nalaze se dlake. Pokožica se uklanja i ne štavi.

2 — **Kožno tkivo** (cutis ili corium) je prava koža, koja se štavi. Sastoji se od samih vlakanaca, koja se međusobno isprepliću u spletove. O gustoći vlakanaca ovisi čvrstoća kože. Kožno tkivo dijeli se na gornji (papilarni) sloj, koji je zapravo lice kože, i na glavni dio kožnog tkiva, tj. drugi (retikularni) sloj. Kroz kožno tkivo prolaze živci i krvni sudovi, koji služe za ishranu kože, zatim znojne i lojne žlijezde.

3 — **Potkožno tkivo** (subcutis) nalazi se ispod kožnog tkiva, a na njega se nastavlja mišićje povezano sa životinjskim tijelom. Potkožno tkivo uklanja se prije štavljenja jer je neupotrebljivo.

Golica (bjelica) je sirova koža pošto se uklone dlake, pokožica i potkožno tkivo, tj. čisto kožno tkivo.

Štavljenjem se golica pretvara u obrađenu (učinjenu) kožu.

Štavila mogu biti:

1 — biljna
2 — anorganska (mineralna)
3 — organska štavila koja nisu biljnog porijekla
4 — umjetna.

14.082 ZAVRŠNA OBRADA KOŽE

Ta može biti:

— **kemijska** (bijeljenje, maštenje, bojadisanje, apretiranje, impregniranje, otežavanje koža, lakiranje)
— **mehanička** (ispiranje, liještenje, sušenje, obrezivanje, polovljenje, krupiranje, cijepanje, izravnavanje i istezanje, napinjanje i protezanje, struganje, blanširanje, eventualno skidanje oštećenih dijelova lica, brušenje, laštenje, glačanje, utiskivanje lica, četkanje, baršuniranje, lomljenje lica, mekšanje, valjanje, zbijanje, mjerenje).

Obrađene kože mogu se razvrstati po porijeklu sirovine, po vrsti štavila i po namjeni kože.

To posljednja razdioba praktički je najvažnija:

1 — koža za obuću
2 — koža za remenare, pokućstvo i sl.
3 — koža za galanteriju
4 — koža za knjigoveže
5 — koža za rukavice i za odjeću
6 — koža za ostale potrebe.

Postoje propisi po kojima se odvija poslovanje kožom za kožarsku industriju. Oni se odnose na uvjete i način prerade, na analitički sastav kože, na vanjski izgled, asortiman itd.

14.083 UMJETNA KOŽA

Ovamo spadaju svi proizvodi koji u širem smislu treba da zamijene pravu kožu. Umjetne su ove kože:

1 — na tekstilnoj bazi
2 — na bazi vlakna (kožna ljepenka, na bazi kožnog vlakna)
3 — na bazi kaučuka, bune, umjetnih smola i sl.
4 — kožno sukno
5 — vulkan-fiber
6 — sintetska umjetna koža (PVC, skaj i dr., poliamid, igelit, opanol).

14.09 KAUČUK — GUMA

Kaučuk je sirova tvar, a **guma** je vulkanizirani kaučuk.

14.091 PRIRODNI KAUČUK

To je visokomolekularan ugljikovodik, koji se dobiva iz mliječnog soka (lateksa), raznih vrsta drva i biljaka, prvenstveno tropskih. Najvažnija biljka za dobivanje je drvo kaučuk (*Hevea brasiliensis*). Danas se ono uzgaja plantažno.

Lateks je prilično stabilna emulzija najmanjih kaučukovih čestica u vodi. Gustoća mu je 1,02 g/cm³.

Prije se lateks koagulirao isključivo dimljenjem na vatri, a danas se to radi pomoću octene i mravlje kiseline, natrijeva silikofluorida i sl. Dobiveni kolač se pere, tanko izvalja i suši te djelomično nadimi.

Tako dobiveni sirovi kaučuk dolazi u trgovini u tankim listovima do 5 mm debljine, izvaljan u čvrstom stanju.

14.092 SIROVI KAUČUK

Taj je bijele, svijetložute do tamno-smeđe boje, neproziran je i elastičan. Topljiv je u ugljičnom disulfidu, kloriranim ugljikovodicima, benzinu, benzolu i terpentinskom ulju. Nije topljiv u vodi i u alkoholu.

Sirov kaučuk je na običnoj temperaturi elastičan i teško se veže, pri 100°C je ljepljiv, pri 180°C je smolasta tekućina, koja poslije dugo vremena otvrdne. Pri 0°C tvrd je i lomljiv. Gori čađavim plamenom, a pri tome širi neugodan karakterističan miris.

Sirov kaučuk ima gustoću 0,92 g/cm³.

14.093 VULKANIZIRANJE KAUČUKA

Vulkaniziranje je miješanje i spajanje sirova kaučuka sa sumporom uz određene temperaturne uvjete i pritisak.

Razlikujemo tri načina vulkaniziranja:

1 — vruće
2 — hladno
3 — vulkaniziranje parama sumpornog monoklorida ili sumpornog diklorida.

Pri **vrućem** vulkaniziranju očišćen sirovi kaučuk pomiješan s određenim postotkom sumpora zagrijava se vodenom parom na temperaturu od 135 do 140°C u parnom kotlu ili u prešama zagrijanim parom ili se preša u zagrijane kalupe.

Vulkanizirana guma postaje elastičnija, čvršća i otpornija prema atmosferskim utjecajima. Gubi svoju topljivost i ljepljivost.

Pri **hladnom** postupku vulkaniziranja tanji gumeni predmeti se uranjavaju u 1,5—5%-tnu otopinu sumpornog klorida u ugljičnom disulfidu ili drugim otapalima kraće vrijeme, ovisno o debljini.

Prije vulkaniziranja gumi se dodaju aktivatori (ubrzivači), omekšivači, punila, boje i zaštitna sredstva.

Aktivatori se dodaju u količinu ispod 1% od težine kaučuka da bi se smanjilo vrijeme trajanja samog procesa vulkaniziranja i poboljšala fizikalno-kemijska svojstva proizvoda.

Kao aktivatori primjenjuju se smole, oksidi cinka, magnezija, kalcija i olova, antimonov trisulfid, Sb_2S_3, litopon (smjesa $ZnS + BaSO_4$), organski spojevi s dušikom itd.

Omekšivači se dodaju u količini od 2 do 20% radi povećanja elastičnosti, savitljivosti i homogenizacije smjese. U tu svrhu služe npr. faktis, voskovi, lanolin, parafin, stearinska kiselina.

Punila mogu biti aktivna, radi poboljšanja svojstava gume, npr. aktivne čađi, cinkovo bjelilo, kaolin, aktivirani bentonit, magnezijev oksid, cinkov oksid i dr. Neaktivna punila otežavaju gumu i snizuju cijenu koštanja proizvoda. To su npr. talk, litopon, barit, kaolin, gips, grafit, plovučac, azbest itd.

Boje koje se dodaju u količini do 5% od težine kaučuka jesu anorganske (mineralne), npr. cinkov oksid, titanov oksid, barijev sulfat, željezni oksid, antimonov trisulfid, ultramarin i dr., ili organske boje. Te druge dodaju se u količini do 2%. To su boje za gumu, postojane prema raznim sastojinama smjese i prema temperaturi (tzv. vulkan-boje).

Zaštitna sredstva dodaju se da bi se spriječilo starenje gume uslijed djelovanja topline, svjetlosti i sl. Takva sredstva su amini, anilin, timol, fenol i sl. Djelovanju para sumpornog klorida podvrgavaju se kratko vrijeme vrlo tanki predmeti koji treba da imaju glatku površinu.

14.094 VRSTE GUMA

Meka guma dobije se vulkaniziranjem smjese sirova kaučuka sa 5—10% S, računato prema težini kaučuka.

Tvrda guma (ebonit dobiva se vulkaniziranjem smjese sirova kaučuka sa 30—50% S. Tvrda guma ima dobra električna izolacijska svojstva, a osim toga otporna je prema koncentriranim i razrijeđenim kiselinama i lužinama. Otapa se u benzinu, benzolu, biljnim i životinjskim uljima. Upotrebljava se u elektroindustriji kao materijal za izolaciju, a u kemijskoj i drugim industrijama za oblaganje posuda, rezervoara i sl., radi zaštite čelika od korozije uslijed djelovanja kiselina i kiselih otopina. Tvrda guma nije otporna prema kiselinama koje imaju oksidirajuće djelovanje iznad određene koncentracije, kao što je npr. dušična kiselina u koncentracijama iznad 5%.

14.095 PROIZVODI PRIRODNOG KAUČUKA DOBIVENI PRETVORBOM

Od tih proizvoda značajna su samo tri:

1 — **Klor-kaučuk.** Dobiva se direktnim kloriranjem sirova kaučuka otopljenog u tetraklor-ugljiku pri temperaturi 80—110°C. Klorirani proizvod sadržava oko 65% klora. Gustoća mu iznosi 1,64 g/cm³. Točka mekšanja mu je 80°C, a razlaže se pri 150°C.

Topljiv je u benzolu, esterima, ugljičnom disulfidu i nekim uljima.

Vrlo dobro je postojan prema kloru i klorovodiku, dobro je postojan prema kiselinama i lužinama. Važno je vezivo za lakove te služi za antikorozione premaze, napose za čelične konstrukcije u industrijskoj kemijskoj atmosferi.

Svestrano je upotrebljiv u kombinacijama s drugim umjetnim smolama, omekšivačima i pigmentima.

Druga je važna primjena klor-kaučuka oblaganje čeličnih posuda, posuda od lakih metala i rezervoara u svrhu zaštite protiv djelovanja kiselina i otopina soli.

2 — **Kaučuk-hidroklorid** dobiva se uvođenjem suhog klorovodika do zasićenja u benzolnu otopinu sirova kaučuka pri temperaturi od 10°C.

Dobiveni proizvod sadržava 30—34% klora. Gustoća mu iznosi 1,12—1,16 g/cm³. Postaje krut kod —20°C, omekšava na 100°C, a raspada se kod 120°C.

Nakon sušenja miješa se sa stabilizatorima (npr. aminima), omekšivačima i bojama pa se od njega dobivaju mehanički čvrste, kemijski postojane, vodonepropusne, savitljive, staklasto čiste folije za ambalažni materijal.

Postojan je prema razrijeđenim kiselinama i lužinama. U većim koncentracijama kiselina otporan je ako one ne djeluju oksidirajuće, kao npr. dušična kiselina i dr.

3 — **Ciklo-kaučuk** se dobiva djelovanjem sulfonskih kiselina ili sulfoklorida na sirovi kaučuk u tankim listićima duljim zagrijavanjem pri temperaturi od kojih 145°C. Tako nastaju, ovisno o radnim uvjetima, ljepljivi, gutaperki ili balati slični te tvrdi ciklički proizvodi. Može se dobiti i iz benzolnih ili fenolnih otopina sirova kaučuka u prisutnosti katalizatora.

Ciklo-kaučuk ima gustoću 0,97—1,02 g/cm³. Proizvodi su tvrdi, krti, termoplastični, postojani do —60°C. Razlaže se otprilike se na 150°C. Pokazuje kemijsku otpornost prema razrijeđenim kiselinama, lužinama i prema nekim mastima. Alifatski i aromatski ugljikovodici ipak ga otapaju.

Upotrebljava se kao sirovina za lakove, za antikorozivne zaštitne premaze i za oblaganje metalnih posuda i rezervoara.

14.096 KAUČUKU SLIČNE SIROVINE

1 — **Gutaperča** se dobiva iz mliječnog soka biljke Isonandra gutta i drugih. Kemijski je vrlo bliska kaučuku. Danas se dobiva i iz lišća tih drveta. Po fizikalnim osobinama razlikuje se od kaučuka. Nije elastična, već tvrda i žilava. Pri 50°C postaje meka i elastična, a pri 100°C se tali. Prešana u kalupe daje na toplini najfinije reljefe. U hladnom je vrlo čvrsta, ali nije krta. Sa sumporom dade se vulkanizirati poput kaučuka. Gustoća joj je 0,95. Dobar je električni izolator.

Upotreba: za izoliranje elektro-vodova i kabela, za impregnaciju pogonskih remenja, za nepromočive tkanine, za izradu ljepila, posuđa i sl.

2 — **Balata** se dobiva iz soka drveta iz familije *Sapotacee* roda *Mimusops*, koji se koagulira. Slična je gutaperči i kaučuku. Nije elastična, sadržava znatan postotak polumernih ugljikovodika (guma), žilava je i otporna prema vodi. Služi za impregniranje pogonskog remenja, platna i sl.

14.097 UMJETNI (SINTETSKI) KAUČUK

Umjetni kaučuk je sličan prirodnom, ali po svojoj strukturi razlikuje se od njega. Kemijska svojstva prirodnog kaučuka općenito su bolja, no umjetni kaučuk može bolje odgovarati specijalnim zahtjevima. Nema elastičnosti kao prirodni kaučuk, ali se ona postiže raznim dodacima. Otporniji je od prirodnog kaučuka prema starenju, toplini i bubrenju, prema uljima i kemikalijama. Često se miješa s manjom količinom prirodnog kaučuka da bi mu se poboljšala svojstva. Bazna sirovina za dobivanje umjetnog kaučuka jesu acetilen, nafta i drugo, a jedno vrijeme bio je to i etilni alkohol.

Upotreba: za izradu automobilskih, avionskih guma, za električne izolacije, za izradu cijevi, traka za transportere, za brtvljenje te za mnoge druge proizvode. Trgovačka imena: buna, perbunan, neopren, sovpren, nairit itd.

14.10 PAPIR

Papir je proizvod dobiven od razrijeđene vodene kaše (sastavljene od očišćenih biljnih vlakanaca, punila, ljepila i boje), koja je uvaljana i osušena u listove određene debljine i širine.

Sirovine za dobivanje papira jesu:

1 — drvna celuloza i drvenjača
2 — krpe i tekstilni otpaci (lan, pamuk)
3 — stari papir
4 — slama
5 — krumpirova stabljika
6 — punila, ljepila i boje za papir.

66—75% papira dobiva se od drvene mase i celuloze. Tekstilni otpaci danas manje dolaze u obzir kao sirovina jer se njima koristi tekstilna industrija.

Proizvodnja papira obuhvaća:

1 — dobivanje vlakana iz celuloznih sirovina
2 — pripremu celulozne mase
3 — preradu celulozne mase u papir
4 — završno dotjerivanje papira.

Obično se obavlja i bijeljenje papira klorom ili hipokloritom.

Celulozna vlakna dobivaju se na ova četiri načina:

1 — sulfitnim postupkom (sulfitna celuloza)
2 — postupkom sa sodom (natron-celuloza)
3 — postupkom s natrijevim sulfatom (sulfatna celuloza)
4 — postupkom s dušičnom kiselinom (nitro-celuloza).

Celulozna masa preraduje se u papir uklanjanjem vode, prešanjem, gušenjem i, konačno, dotjerivanjem papira.

14.101 VRSTE PAPIRA

Prema namjeni razlikujemo ove vrste papira:

1 — tiskarski
2 — novinski

3 — za filtriranje
4 — za bugačice
5 — impregnirani
6 — omotni
7 — pergament
8 — pisaći
9 — crtaći
10 — foto-papir
11 — cigaretni
12 — prozirni
13 — kartonski
14 — svileni
15 — sintetski
16 — pergamin
17 — valovitu ljepenku.

Proizvođači zaštitnih sredstava protiv korozije naknadno obrađuju neke vrste papira za pakovanje strojeva i opreme, pogotovo za uskladištenje i prekomorski transport. Tako dolaze na tržišta:

1 — bitumenizirani papiri, 2 — parafinirani papiri i 3 — papiri natopljeni u inhibitore korozije (npr. VPI-papir) itd.

14.102 ISPITIVANJE PAPIRA

Pri ispitivanju papira određuje se:

1 — težina papira izražena u gramima po kvadratnom metru površine, tj. gramatura = g/m²
2 — debljina u mm pomoću mjerača debljine
3 — prostorna težina u kg/dm³

$$\text{prostorna težina} = \frac{\text{gramatura}}{\text{debljina} \times 1\,000}$$

4 — čvrstoća na vlak (DIN 53112)
5 — čvrstoća na kidanje (DIN 53113)
6 — sposobnost i trajnost savijanja
7 — otpornost prema trganju i cijepanju
8 — čvrstoća na udar
9 — čvrstoća na savijanje papira i kartona
10 — otpornost prema habanju (papir za novčanice)
11 — sadržaj vlage
12 — sposobnost upijanja
13 — vodopropusnost
14 — mjerenje vremena probijanja i protjecanja
15 — propusnost za plinove i vodenu paru
16 — električna svojstva
17 — ispitivanje papira u raznim klimatskim uvjetima
18 — kemijska analiza.

Veličina (format) papira Tablica 1.

Razred	Glavni red A		Dopunski redovi B		C		D	
	Oznaka	Mjera u mm	Oznaka	Mjera u mm	Oznaka	Mjera u mm	Oznaka	Mjera u mm
000	4A0	1 682 × 2 378	—	—	—	—	—	—
00	2A0	1 189 × 1 682	—	—	—	—	—	—
0	A0	841 × 1 189	B0	1 000 × 1 414	C0	917 × 1 297	D0	771 × 1 090
1	A1	594 × 841	B1	707 × 1 000	C1	648 × 917	D1	545 × 771
2	A2	420 × 594	B2	500 × 707	C2	458 × 648	D2	385 × 545
3	A3	297 × 420	B3	353 × 500	C3	324 × 458	D3	272 × 385
4	A4	210 × 297	B4	250 × 353	C4	229 × 324	D4	192 × 272
5	A5	148 × 210	B5	176 × 250	C5	162 × 229	D5	136 × 192
6	A6	105 × 148	B6	125 × 176	C6	114 × 162	D6	96 × 136
7	A7	74 × 105	B7	88 × 125	C7	81 × 114	D7	68 × 96
8	A8	52 × 74	B8	62 × 88	C8	57 × 81	D8	48 × 68
9	A9	37 × 52	B9	44 × 62	C9	40 × 57	D9	—
10	A10	26 × 37	B10	31 × 44	C10	28 × 40	—	—
11	A11	18 × 26	B11	22 × 31	—	—	—	—
12	A12	13 × 18	B12	15 × 22	—	—	—	—
13	A13	9 × 13	B13	11 × 15	—	—	—	—

Red D danas se gotovo ne upotrebljava.

Pregled težina nekih veličina papira Tablica 2.

Gramatura u g/m²	Težina u kg za 1 000 araka					
	Glavni red i oznake				Dopunski redovi i oznake	
	A0	A1	A2	A3	B1	C1
40	40	20	10	5	28,30	23,80
45	45	22,5	11,25	5,65	31,80	26,75
50	50	25	12,5	6,25	35,35	29,73
52	52	26	13	6,5	36,76	30,90
56	56	28	14	7	39,59	33,28
60	60	30	15	7,5	42,42	35,70
63	63	31,5	15,75	7,87	44,54	37,43
70	70	35	17,5	8,75	49,50	41,65
80	80	40	20	10	56,56	47,55
90	90	45	22,5	11,25	63,63	53,50
100	100	50	25	12,5	70,70	59,45
110	110	55	27,5	13,75	77,75	65,40
120	120	60	30	15	84,85	71,35
125	125	62,5	31,25	15,62	88,38	74,28
130	130	65	32,5	16,25	91,90	77,30
140	140	70	35	17,5	99,00	83,25
160	160	80	40	20	113,12	95,15
180	180	90	45	22,5	127,27	107,05
200	200	100	50	25	141,40	118,95
240	240	120	60	30	169,68	142,61
250	250	125	62,5	31,25	176,75	148,65
280	280	140	70	35	197,96	166,50
300	300	150	75	37,5	212,10	178,40

Težina ljepenke veličine 70 × 100 Tablica 3.

Komada u 25 kg	Težina (gramatura) [g/m²]	Težina 1 arka [g]	Komada u 25 kg	Težina (gramatura) [g/m²]	Težina 1 arka [g]
10	3 568	2 500	60	595	417
12	2 977	2 083	65	549	384
15	2 380	1 666	70	510	357
18	1 984	1 389	80	447	318
20	1 785	1 250	90	397	278
25	1 428	1 000	100	357	250
30	1 190	833	110	325	228
35	1 020	714	120	298	209
40	893	625	130	275	192,3
45	794	555	140	255	178,5
50	714	500	150	238	166,6
55	659	455	160	224	156,2

14.11 TEKSTILNA I MINERALNA VLAKNA

14.111 TEKSTILNA VLAKNA

Tekstilna vlakna su skupni pojam za tvari (vlakna) ograničene po duljini ili beskrajno duge tvari (elementarni konac). U širem smislu dijelimo ih na dvije glavne skupine:

1 — na prirodna i
2 — na umjetna vlakna.

14.111.1 Prirodna vlakna dijelimo na tri podskupine:

1 — biljna vlakna
11 — vlakna dobivena iz sjemena (pamuka)
12 — vlakna dobivena iz plodova (kokosa)
13 — vlakna dobivena iz kore (lika) (lana, konoplje, jute, ramije)
14 — vlakna dobivena iz lišća (manile, agave, novozelandskog lana)
15 — kotonizirana vlakna (kopriva, lan, konoplja).

2 — životinjska vlakna
21 — vlakna iz dlaka (ovce-vuna, koze-kostrijet, deve, lame, konja)
22 — vlakna iz svile (dudov svilac, morske školjke)

3 — mineralna vlakna — azbest.

Tekstilna vlakna potječu pretežno iz biljnog svijeta, a njihov glavni sastojak je celuloza $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Biljna vlakna mogu biti sastavljena od više međusobno slijepljenih dugačkih ili vretenastih ćelija koje tvore **tehničko vlakno** ili **obično vlakno.**

Kotonizirana vlakna su tehnička vlakna kemijski razložena u elementarne ćelije kuhanjem u alkalnim otopinama.

14.111.2 Umjetna vlakna

To su:

1 — umjetne svile (nitroceluloza, viskoza, bakrena i acetatna svila)
2 — celulozna vuna (Zellwolle, vistra)
3 — vlakna dobivena iz bjelančevina (kazeinska, tiolan, lanital)
4 — sintetska vlakna (pe-ce, vinion, saran, darlan, PVA, najlon, perlon)
5 — kaučukove niti (gumene niti)
6 — metalne niti (Ms, Cu, Al, Ag, Au itd.)
7 — staklena vuna
8 — prediva iz papira (nadomjesci za jutu, sulfinitni papir).

14.111.3 Staklena vuna

Staklena vuna dobiva se u obliku beskrajnog konca i u obliku vlakana određene dužine.

Postupak dobivanja:

1 — brizganjem rastaljenog stakla na 1 300—1 400°C
2 — puhanjem pod pritiskom
3 — izvlačenjem vlakana iz staklenih štapića.

Kod nas se staklena vuna proizvodi u Skoplju.

Strani trgovački nazivi:

vetroteks (Švajcarska)
fiberglas (Kanada)
fibreglas (Engleska)
vitron (USA)
silion, veranne (Francuska).

Debljina pojedinih vlakana iznosi od 4,2 do 12 mikrometara. Staklena vuna ne upija vodu. Nije zapaljiva. Talište joj je na visokim temperaturama. Vlakna su otporna na kiseline, ali nisu otporna na koncentrirane lužine.

Upotreba: za toplinske izolacije, za armiranje plastičnih masa pri izradi čamaca, za oblaganje zidova, za dekorativne tkanine postojane na visokim temperaturama, za zavjese u kazalištima, za avione, brodove, za izradu traka, šešira, pozamenterije itd.

14.112 MINERALNA VLAKNA — AZBEST

Azbest je vlaknasti agregat silikatnih minerala, koji se odgovarajućim kemijskim tretiranjem i mehaničkim postupcima može rasplesti, osposobiti za predenje i upotrijebiti kao mineralno tekstilno vlakno samo ili u smjesi s pamukom ili vunom ili s tankim žicama.

Razlikujemo dvije vrste:

1 — **Serpentinski azbest** (krisotil-azbest) je magnezijev silikat. Talište mu je 1 500°C. Sadržava veću količinu kristalne vode (oko 10—20%). Zagrijavanjem na 650—1 000°C gubi vodu i čvrstoću. Sadržava nešto kalcija i željeza. Boje je bijele, bijelosive, svijetlozelene i svijetložute. Tvrdoća po Mohsu 3—4.

Gustoće je 2,3—2,5 g/cm³. Svileno sjajan je. Postojan je prema alkalijama, a slabo se topi u solnoj kiselini. Vlakna su mu čvrsta i elastična pa se ona duža daju presti i plesti.

Služe za izradu protutoplinskih maski i vatrogasnog pribora, cijevi, odjeće i obuće te za električne i toplinske izolacije, parovode i dr. Upotrebljavaju se sama ili u smjesi s drugim materijalima — vunom, pamukom, tankim žicama, cementom (eternit-ploče i crijep, salonit-ploče, cementnoazbestna valovita ljepenka itd.).

2 — **Amfibolni azbest** je magnezijev silikat; sadržava veću količinu kalcija i željeza, 2—6% kristalne vode, tvrdoća mu je 5—6 po Mohsu, gustoća 2,5—3 g/cm³, a talište mu je 1 150°C. Primjenjuje se u manjoj količini od serpentinskog azbesta. Otporan je prema kiselinama.

Boje je tamne do mrko žute.

Amfibolni azbest može biti i plave boje. Vlakna su mu krta i teško se predu pa služe za izradu kemijskih filtara, kao punila za boje i kaučuk, električne izolacije, premaza otpornih prema kiselinama i sl.

14.12 BOJE I LAKOVI

Boje i lakovi služe za pripremu premaza koji se nanose u tankom sloju na površine raznih konstrukcija, postrojenja i opreme, strojeva i aparata, industrijskih proizvoda i predmeta široke potrošnje itd., pretežno u svrhu zaštite i dekorativnog efekta.

Između boja i lakova u modernoj tehnologiji nema velike razlike jer su po sastavu često vrlo slični.

Boje (premazi ili naliči u užem smislu) jesu organska zaštitna sredstva sastavljena od veziva, boje ili pigmenta i eventualno razrjeđivača. Daju relativno meke filmove koji se ne odlikuju osobitom glatkoćom.

Lakovi su sastavljeni od veziva otopljenog u organskim otapalima (razrjeđivačima) s pigmentom ili bez njega. Daju relativno tvrde i glatke zaštitne filmove.

Lakovi s pigmentom nazivaju se i **lak-boje** ili **emajli** (koji se ne smiju zamijeniti s pravim emajlima, dobivenim pečenjem na visokim temperaturama).

Sastavni dijelovi premaza jesu:

1 — veziva
2 — boje ili pigmenti
3 — otapala ili razrjeđivači
4 — omekšivači
5 — sredstva za sušenje ili sikativi
6 — ostala pomoćna sredstva.

Navedeni sastavni dijelovi imaju znatan utjecaj na stvaranje filmova i njihova svojstva, a s tim u vezi i na njihovo zaštitno djelovanje protiv korozije.

14.121 VEZIVO

Ono daje premazu karakteristična svojstva s obzirom na sušenje i trajnost, odnosno čvrstoću filma. Zbog toga se premazi često označavaju prema vrsti veziva.

Film se suši, odnosno stvara uglavnom na ove načine:

1 — kemijskim putem uz sudjelovanje kisika, npr. kod uljnih boja
2 — fizikalnim putem uz isparavanje otapala i razrjeđivača, npr. kod nitrolakova
3 — polimerizacijom uz združivanje malih molekula u velike bez promjene kemijskog sastava i gubitka tvari
4 — polikondenzacijom uz odvajanje vode, soli amonijaka i sl.
5 — kemijskom reakcijom između komponenata veziva i drugim načinima sušenja. Te vrste sušenja praktički se ne daju strogo odijeliti jer se često zbivaju kombinirano.

Fizikalno sušenje provodi se na zraku pri običnoj temperaturi ili u pećima na povišenim temperaturama, npr. pri 120°C kod bakelita.

Kod nekih premaza sušenje se zbiva djelomično fizikalnim, a djelomično kemijskim putem (npr. kod alkidnih smola).

Fizikalno sušenje provodi se na zraku pri običnoj temperaturi ili u pećima na povišenim temperaturama, npr. pri 120°C kod bakelita.

Kod nekih premaza sušenje se zbiva djelomično fizikalnim, a djelomično kemijskim putem. (npr. kod alkidnih smola).

14.122 PIGMENT

To je u vezivu, u otopini veziva ili u disperziji veziva praktički netopljiva, čvrsta, fino dispergirana tvar, koja premazu daje obojen izgled.

Pigmenti treba da daju dobru moć pokrivanja premaza, da očvršćuju film i da povisuju njegova antikorozivna svojstva te da reflektiraju ultravioletne zrake i da tako uklone njihovo stalno djelovanje.

14.123 Otapala su hlapljivi organski spojevi koji otapaju čvrste ili tekuće sirove sastojine lakova.

Razrjeđivači su otapala koja služe samo za razrjeđivanje premaza.

14.124 Omekšivači imaju zadatak da omoguće dobivanje mekših, rastežljivijih i plastičnijih zaštitnih filmova.

14.125 Sikativi ili **sredstva za sušenje** su tvari koje ubrzavaju proces sušenja premaznog filma i osiguravaju po želji njegov tok. To su soli olova, mangana, kobalta i sl. s organskim kiselinama.

Najrašireniji je sikativ **firnis** lanenog ulja.

Kod premaza razlikujemo:

1 — temeljne premaze i

2 — pokrivni premaz.

Prije nanošenja premaza treba površine koje se premazuju dobro očistiti od korozivnih proizvoda, masnih tvari i sl. Boje i lakovi nanose se premazivanjem četkama, umakanjem, prelijevanjem, štrcanjem, vrućim štrcanjem, elektrostatskim štrcanjem, nanošenjem pomoću valjaka, postupkom »flow-coating« [flou-kouting], tj. modificiranim postupkom prelijevanja u atmosferi zasićenoj razrjeđivačem, postupkom-»Moellerit«, tj. hladnim štrcanjem prahom gdje se vezivo (s razrjeđivačem ili bez njega) štrca odvojeno od pigmenta ili punila.

Izdašnost boje izražava se kao površina u m^2 koja se može obraditi jednim kilogramom boje.

Kvaliteta premaza zavisi od mnogih faktora: od prethodnog čišćenja površine, od skidanja starih premaza, od stanja površine, od načina nanošenja, klimatskih uvjeta, temperature i relativne vlažnosti zraka za vrijeme izvođenja radova, od debljine prevlake, propusnosti i poroznosti prevlake itd.

Za antikorozivnu zaštitu premazima važan je i izbor sistema, pri čemu se mora voditi briga i o agresivnosti okoline kojoj su izloženi oprema i uređaji.

Debljina prevlake može se kontrolirati raznim magnetskim mjeračima: elkometrom, mikro-testom i sl. Osim toga ispituju se i druga svojstva prevlake po određenim standardima.

14.126 OSTALE BOJE I PRIMJENA

Boje u širem smislu su tvari koje mogu obojiti druge materije. Veoma se mnogo primjenjuju u tekstilnoj industriji za bojenje vunenih, pamučnih i drugih tkanina, u građevinarstvu za bojenje unutarnjih i vanjskih zidova, vrata, prozora i drugih građevinskih elemenata, u industriji papira, u tiskarstvu za tiskarske boje, u kožarstvu, u umjetničkom slikarstvu, u keramičkoj industriji, u industriji namještaja, u kemijskoj i u farmaceutskoj industriji itd.

Danas se dobivaju isključivo industrijski.

Razlikujemo **prirodne** i **umjetne, anorganske** i **organske boje.**

Vrsta veziva za antikorozivne premaze, njihovo označavanje i sušenje

Tablica 1.

Vezivo	Oznaka	Sušenje (stvaranje filma)
Laneno ulje — drvno ulje — firnis	uljne boje	kemijsko — na zraku
Firnis — ulja — umjetna ili prirodna smola	uljni lakovi	djelomično kemijsko, djelomično fizikalno na zraku ili u peći
Umjetna ili prirodna smola — alkohol	špiritni lakovi (alkoholni lak)	fizikalno
Celulozni derivati — smole — omekšivač	celulozni lakovi	fizikalno
Višebazične kiseline — viševaljani alkoholi	alkidno-smolni lakovi	kemijsko-fizikalno u peći
Ulje na bazi ftalne kiseline	ftalatno-smolni lakovi	(< 120°C), kondenzacijom
Fenol-formaldehid + otapalo koje:	fenolno-smolni lakovi	na zraku ili u peći (200°C)
1 — ne otvrdnjava fenolne smole	novolak	
2 — otvrdnjava fenolne smole	rezol — rezit	
3 — s dodacima	fenolno-smolni lakovi	kondenzacijom
Urea smola — formaldehid + katalizator	urea-smolni lakovi	u peći hladno otvrdnjavajući kondenzacijom
Melamin — formaldehid modificiran drugim lakovima i smolama	melaminsko-smolni lakovi	u peći kondenzacijom
Viševaljani viši fenoli — epiklorhidrin modificirani	epoksidno-smolni lakovi	u peći poliadicijom
Dvobazične kiseline — viševaljani amini	poliamidno-smolni lakovi	kondenzacijom
Poliuretani (diizocijanat, odnosno triizocijanat) — mekano smolni poliester sa slobodnim hidroksilnim grupama	DD-lakovi desmodur-desmofen	na uzduhu poliadicijom
Otopine silikonskih smola	silikonsko-smolni lakovi	u peći
Polivinil-ester (polivinil-alkohol) modificirani	polivinil (acetatni)-lakovi	polimerizacijom
Poliakrilester (polimerizacija estera akrilne i metaakrilne kiseline) modificirani	poliakril-esterski lakovi	na zraku i peći

Vrste lakova i njihova svojstva

Tablica 2.

Oznake za vrstu sušenja
ZL = na zraku, lagano sušenje
ZB = na zraku, prilično brzo sušenje
ZVB = na zraku, vrlo brzo sušenje
P = u peći sušenje

Ocjena svojstava
4 = relativno vrlo dobar
3 = relativno dobar
2 = umjeren, osrednji
1 = relativno slab
0 = relativno vrlo slab

Red. broj	Vrsta laka	Svojstva: Vrsta sušenja (stvaranje filma)	Zadržavanje sjaja u vanjskoj atmosferi	Tvrdoća površine	Plastičnost	Adhezija (prianjanje)	Stalnost prema svjetlu	Stalnost prema toplini	Otpornost prema atmosferi	Otpornost prema kemikalijama	Trajnost u limenki (kutiji)
1.*	Lanenouljni ugušćeni lakovi	ZL	1	0	3	3	2	0	3	0	4
2.	Uljni-tvrdosmolni lakovi	ZL	0	2	0	3	1	0	0	0	4
3.*	Drvnouljni-alkilfenolno-smolni lakovi	ZL	2	1	3	3	1	2	4	4	3
4.*	Ftalatno ili alkidno-smolni lakovi	ZB	4	2	4	3	3	2	4	3	3
5.	Alkidno-smolni lakovi sa stirenom	ZVB	2	3	2	4	3	2	2	2	3
6.	Poliesterski lakovi (c)	ZB	—	3	2	3	3	—	3	—	1
7.	Nitrocelulozni lakovi	ZVB	0	3	1	2	2	2	1	0	4
8.	Nitroftalatno-smolni lakovi (a)	ZVB	2	2	3	3	3	2	3	0	4
9.*	Klor-kaučuk lakovi	ZVB	0	3	1	2	1	1	1	3	4
10.*	Polivinil-kloridni lakovi	ZVB	1	2	2	2	1	1	1	3	4
11.	Poliakrilat-smolni lakovi	ZVB	2	2	3	4	4	2	3	3	4
12.*	Epoksi-smolni lakovi (b)	ZB	2	3	3	3	2	2	3	4	1
13.*	Ciklo-kaučuk lakovi	ZVB	2	2	2	2	1	2	2	3	4
14.	Polivinil-acetatni lakovi (d)	P	—	4	4	4	3	3	3	4	4
15.*	Desmofen-desmodur lakovi	ZB	3	3	3	4	2	3	4	4	0
16.	Kiselootvrdnjavajući aminosmolni lakovi	ZB	1	3	1	2	3	3	0	2	1
17.	Fenolnosmolni pečeni lakovi	P	2	4	3	4	1	4	2	4	3
18.	Urea-smolni pečeni lakovi	P	1	4	4	4	4	3	0	0	3
19.	Melaminsko-smolni pečeni lakovi	P	3	4	4	3	4	3	3	2	3
20.	Asfaltni pečeni lakovi	P	2	3	2	3	2	4	2	3	4
21.	Silikonsko-smolni pečeni lakovi	P	3	3	3	4	3	4	4	4	4

U tablici 2. navedena svojstva lakova su orijentaciona jer se ona mogu promijeniti raznim recepturama, odnosno postupcima dobivanja.
Osobito visokovrijedne antikorozivne temeljne premaze daju veziva pod rednim brojem 1, 3, 4, 9, 10, 12, 13 i 15, označena sa * u tablici 2, a mala slova u zagradi iza naziva lakova znače:

(a) = s više ftalatne smole nego nitroceluloze u vezivu
(b) = sušenje pomoću organskih amina
(c) = lak bez otapala
(d) = samo oni tipovi koji se primjenjuju za pečenje u peći.

Zaštitni temeljni premazi moraju uvijek odgovarati pokrivnom premazu, tj. treba da po mogućnosti budu iste baze.

Primjeri za primjenu lakova

Tablica 3.

Redni broj	Primjena lakova za	Redni broj laka u tabeli broj 2
1.	Automobile	4- 5- 7- 8-19
2.	Avione	11-12-14-15
3.	Bačve	2- 3-17-20
4.	Bicikle	20- 4-19
5.	Boce za butan	5- 6-12-19-15
6.	Brodske podove	4-12-15-21
7.	Brodske pokrivne premaze	1- 4- 3
8.	Dugmad	20- 7-17
9.	Folije	7- 8-11-19
10.	Frižidere	18-19
11.	Igračke	2- 7-18
12.	Ispušne cijevi	21-17-14
13.	Kanalizacijske poklopce, rešetke-reparature	6- 7-8-18
14.	Kanistre, kante	12-14-17-15
15.	Konzervne limenke	3-10-12-17
16.	Krevete i sl.	18-19-17- 5
17.	Lake građevne elemente	5-15-11- 4
18.	Uredski namještaj	18 -5- 8
19.	Patent-zatvarače	10-18- 4- 8
20.	Peći	21-17- 4-20
21.	Pisaće strojeve	5-18-19-20
22.	Pletene žice	6- 7-20
23.	Poljoprivredne strojeve	2- 5- 7-9-13
24.	Posuđe	17- 6
25.	Predionička vretena	15-17-13-10-9-6
26.	Prometne znakove	4-19- 5- 8
27.	Prstenove	20- 7-17
28.	Radarske aparate i uređaje	10-11-14-18
29.	Radijatore, kalorifere	4-16-21
30.	Rakete	21-14-17- 6
31.	Reflektore	21-18-11
32.	Strojeve za pranje rublja	19-17
33.	Šivaće strojeve	20-18-19- 5-15
34.	Štednjake	21-20-17
35.	Tankove, rezervoare, cisterne	3- 9-10-12-13-15
36.	Tube	15-17-14-10
37.	Vretena	3- 6-14-15-17
38.	Vretena za predionice	15-17-13-10- 9-6
39.	Zatvarače za boce	7- 8-11-19
40.	Žaluzije i sl.	5- 6-19- 4
41.	Žice	14-15-17

Pokrivni premazi za zaštitu čeličnih konstrukcija

Tablica 4.

Vrsta pokrivnog premaza	Kemijska otpornost prema					
	vodi	seoskoj atmosferi	industrijskoj atmosferi	agresivnoj atmosferi	slabim agresivnim otopinama	jakim agresivnim otopinama
Uljni	1	3	1	1	1	1
Uljni-klorkaučukov	1	2	3	1	1	1
Uljni-ftalatno-smolni	1	2	3	1	1	1
Uljni-fenolno-smolni	1	1	3	3	1	1
Uljni-asfaltni	3	3	3	3	3	1
Fenolno-smolni	3	1	1	3	3	1
Ftalatno-smolni	1	2	3	1	1	1
Klor-kaučuk-ftalatno smolni	1	1	2	3	3	1
Klorkaučukov	3	1	1	3	3	3
Bitumenski s punilom	3	3	3	3	3	3
Katransko-smolni s punilom	3	3	3	3	3	3
Katransko-smolna emulzija	3	3	3	3	3	3

Oznake ze kemijsku otpornost:

3 = dobra
2 = još primjenljiva
1 = slaba, upotreba se ne preporučuje.

14.13 SREDSTVA ZA BRUŠENJE (ABRAZIVI)

Sredstva za brušenje (abrazivi) jesu prirodne ili umjetne tvari osobite tvrdoće i različite finoće zrna koje služe za čišćenje, brušenje i poliranje površina metala, stakla, kamena, keramičkih proizvoda, drveta i umjetnih masa.

Primjenjuju se u mehaničkoj predobradi, u međuoperacijskoj i završnoj obradi raznih materijala, a posebno metala.

Abrazivi moraju imati određenu tvrdoću i žilavost. Tvrdoća je potrebna da bi abraziv mogao lako skidati materijal koji se obrađuje, a žilavost da se zrnca ne bi lako lomila zbog pritiska ili udaraca obrađivanog materijala.

Abraziv dolazi u upotrebu sam u rastresitom stanju, nanesen pomoću veziva na papir, kožnate trake, ili dolazi u obliku gotovih ploča, tocila ili na kolute nanesen pomoću veziva (tutkala, vodenog stakla i dr.), ovisno o tome da li je namijenjen ručnoj ili strojnoj obradi materijala.

Veličina zrna abraziva ima utjecaja na stanje i izgled obrađene površine te na samo brušenje i poliranje.

Odviše krupna zrna teže se učvršćuju u brusove i lakše ispadaju, više su opterećena pritiskom strugotine i predmeta i lako se lome. Zato treba za pojedine stupnjeve obrade uzeti zrna srednje veličine.

Pri brušenju materijala skidamo stanovitu debljinu njegove površine, dok pri poliranju izravnavamo sve neravnine u istu ravninu.

Granica između brušenja i poliranja nije oštra.

Pod **brušenjem** se obično smatra uklanjanje neravnina s amplitudom većom od 0,1 mm, a pod **poliranjem** uklanjanje neravnina s amplitudom manjom od 0,1 mm

Veličina zrna sredstva za poliranje

Tablica 1.

Oznaka po DIN 69100	Trgovačka oznaka	Standardni broj zrna	Trgovački broj zrna	Veličina zrna u mm
			4	5,1 ... 4,0
			5	4,0 ... 3,5
			6	3,5 ... 2,83
Vrlo grubo	vrlo grubo	8	8	2,83 ... 2,38
		10	10	2,38 ... 2,00
		12	12	2,00 ... 1,68
Grubo		14	14	1,68 ... 1,41
		16	16	1,41 ... 1,19
		20	20	1,19 ... 1,00
		24	24	0,84 ... 0,71
		30	30	0,71 ... 0,59
Srednje	grubo	36	36	0,59 ... 0,50
		(40)	40	0,50 ... 0,42
		46	46	0,42 ... 0,35
		50	50	0,35 ... 0,297
		60	60	0,297 ... 0,25
Fino	srednje	70	70	0,25 ... 0,21
		80	80	0,21 ... 0,177
		90	90	0,177 ... 0,149
		100	100	0,149 ... 0,125
		120	120	0,125 ... 0,105
		150	150	0,105 ... 0,088
Jako fino	fino	180	180	0,088 ... 0,074
		200	200	0,074 ... 0,062
		220	220	0,062 ... 0,053
		240	250	0,053 ... 0,045
		280	280	0,045 ... 0,037
Fino	mulj	320	320	0,037 ... 0,031
		400	400	0,031 ... 0,027
		500	500	0,027 ... 0,022
		600	600	0,022 ... 0,018
			700	0,018 ... 0,015
			800	0,015 ... 0,011
Praškast	mikro-finoća		1 000	0,011 ... 0,008
			2 000	0,008 ... 0,005
			3 000	0,005 ... 0,000

14.131 Prirodna sredstva za brušenje jesu tvrdi minerali, granulirani i sijanjem klasirani po veličini zrna. Tu se ubrajaju minerali koje ćemo ovdje nabrojiti.

1 — **Dijamant** je kemijski kubična modifikacija ugljika. Najtvrđi prirodni mineral. Tvrdoća 10 po Mohsu.

2 — **Korund** je kemijski aluminijev oksid Al_2O_3 (90—95%). Tvrdoća 9 po Mohsu. Prilično žilav.

3 — **Šmirak** je smjesa korunda (50—70%), željeznog oksida (20%), magnezita i kvarca. Tvrdoća 8 po Mohsu.

4 — **Kvarc** ili **kremen** je kemijski silicijev dioksid, SiO_2. Tvrdoća 7 po Mohsu.

5 — **Infuzorijska** ili **diatomejska zemlja** (diatomit) je kremena zemlja koja potječe od skeleta izumrlih morskih mikroorganizama (diatomeja).

6 — **Flint** (kremenjak, kalcedon) je amorfni ili finokristaliničan oblik kremena otprilike sa 98% SiO_2. Tvrdoća 6,5—7 po Mohsu.

7 — **Almandin** je željezni — aluminijev granat $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$. Tvrdoća 6,6—7,5 po Mohsu. Žilav je.

8 — **Plovučac** je staklasto silikatni materijal vulkanskog porijekla s mnogo pora. Tvrdoća 5—6 po Mohsu. Krhak je.

14.132 Umjetni materijali za brušenje

dobiveni su raznim postupcima. Obično su bolji i jeftiniji od prirodnih.

1 — **Umjetni korund** (elektro-korund) sadržava 60—99% Al_2O_3, zatim Fe_2O_3, SiO_2 i TiO_2. Tvrdoća otprilike 9 po Mohsu. Dobiva se u električnim pećima taljenjem boksitnih rudača. Prema sadržaju Al_2O_3 ima različitu tvrdoću.

Razlikujemo:

11 — **crni korund** s kojih 70% Al_2O_3 (manje tvrdoće)

12 — **normalni korund** s kojih 95% Al_2O_3 (srednje tvrdoće)

13 — **bijeli** ili **crvenkasti** plemeniti korund s kojih 99% Al_2O_3 (tvrđ).

2 — **Karborundum** je silicijev karbid, SiC, s kojih 98% Si. Tvrdoće je 9—10 po Mohsu.

3 — **Borni karbid,** B_4C, ima tvrdoću 9,32 po Mohsu.

4 — **Umjetni dijamanti** veće su tvrdoće od prirodnih dijamanata.

5 — **Borni nitrid,** BN, ima tvrdoću kao i sintetski dijamant.

6 — **Kromni oksid,** Cr_2O_3, dobiva se umjetnim putem. Zelene je boje.

7 — **Željezni oksid,** Fe_2O_3 dobiva se umjetno ili kao mineral hematit.

8 — **Glinica** je kristalizirana modifikacija aluminijeva oksida Al_2O_3.

9 — **»Bečko vapno«** je smjesa kalcijeva oksida, CaO, i magnezijeva oksida, MgO, dobivena prženjem dolomita.

10 — **Staklo.**

14.133 Brusna sredstva u primjeni

Paste za brušenje

To su polutvrde mase u kojima je abraziv pomiješan s lojem, parafinom, stearinom ili voskom. Nanose se ručno ili automatski na kolute za poliranje; pri poliranju se upotrebljavaju redovito, a pri brušenju rjede.

1 — **Zelena pasta** s kromnim oksidom, Cr_2O_3. Upotrebljava se za poliranje nerđajućeg čelika i kroma.

2 — **Crvenosmeđa** sa željeznim oksidom, Fe_2O_3. Upotrebljava se za poliranje običnog čelika (ugljičnog).

3 — **Bijela pasta** (mršava) sa smjesom kalcijeva i magnezijeva oksida, CaO i MgO. Služi za poliranje nekih metala.

Brusni papir i brusno platno

Pojedini abrazivi ili smjese abraziva razne finoće zrna nanose se pomoću različitih veziva na papir ili platno. Služe za ručnu obradu raznih materijala; metala, drveta i sl.

Brusno kamenje, brusne ploče sastoje se od abraziva i keramičkog veziva (gline), vodenog stakla i raznih smola.

Na **kolute od pusta** (filca) nanosi se abraziv s tutkalom kao vezivom.

Brusne trake upotrebljavaju se u novije vrijeme za strojeve i automate za poliranje. Trake na koje se nanosi tutkalo i abraziv jesu od platna, kože i sl.

14.14 OSTALI NEMETALNI MATERIJALI

14.141 Pluto

Pluto je tehnički važan materijal zbog svojih svojstava: male gustoće 0,12—0,25 g/cm³, slabe toplinske vodljivosti 0,038—0,044 kcal/m · h°C, velike elastičnosti, nepropusnosti za plinove i tekućine itd., pa se upotrebljava za toplinske izolacije, za proizvodnju brtvila i čepova, kao punilo za razne izolacione materijale, linoleum i sl.

Dobiva se iz unutrašnje kore hrasta plutnjaka (*Quercus suber*), kojeg ima u nekim zemljama uz Sredozemno more.

Vrlo je otporno prema vanjskim i nekim kemijskim utjecajima.

Neotporno je prema koncentriranim anorganskim kiselinama (sumpornoj, solnoj, dušičnoj), halogenim elementima kloru, bromu i jodu, amonijaku, vodikovu peroksidu i nekim uljima. Postojano je prema razrijeđenim kiselinama, otopinama raznih soli, ulju. Nepropusno je za morsku i slatku vodu. Postojano je do 100°C, nije higroskopno.

Dobro pluto je svijetlosmeđe boje, gusto je i elastično.

Slabije vrste su rupičaste, brašnaste i tvrde.

Staro pluto može se omekšati posebnom obradom i donekle regenerirati.

U trgovini pluto dolazi u pločama, koje su pakovane u balama.

Jedna tona pluta zauzima volumen od 6,9 do 7,9 m³.

14.142 Čađa

Čađa je gotovo čist oblik ugljika. Uz elementarni ugljik sadržava redovito i male količine vodika, kisika i nešto sumpora.

Dolazi kao izrazito crn prah u vrlo finoj razdiobi, s velikom površinom, a odlikuje se vodoodbojnošću (hidrofobnošću).

Čađa se sastoji od kuglastih djelića većim dijelom nanizanih u obliku lanca u rastresitim agregatima. Promjer čestica iznosi 100—400 angstrema. O veličini tih čestica znatno ovise tehnološka svojstva čađe. Ona može nastati kao posljedica lošeg izgaranja goriva u industrijskim i drugim pećima, gdje je ona nepoželjna. Ovdje pod čađom razumijevamo industrijski proizvod koji želimo dobiti da bismo ga mogli upotrijebiti za dobivanje drugih proizvoda ili u druge svrhe.

Gustoća čađe iznosi 1,78—1,87 g/cm³, a ovisi o uvjetima dobivanja.

Temperatura zapaljenja je 370—440°C. U vodi je čađa potpuno netopljiva, ali se može lako dispergirati do koloidnih čestica.

Princip dobivanja čađe je izgaranje sirovine bez dovoljnog pristupa zraka i hlađenjem plamena na hlađenim metalnim pločama.

Sirovine za dobivanje čađe jesu:

1 — zemni plin (glavna mu je sastojina metan, CH_4 sa 75% ugljika i 25% vodika, te drugi ugljikovodici; zemni plin je najvažnija i najvrednija sirovina iz koje se dobiva najkvalitetnija čađa; iz 1 m^3 plina dobiju se otprilike 22 g čađe)
2 — koksni plin (ondje gdje nema zemnog plina)
3 — acetilen (u novije vrijeme opet dobiva na važnosti)
4 — benzin i plinsko ulje
5 — katransko ulje
6 — ulje za loženje (mazut, pakura)
7 — naftalin i antracen.

Razlikujemo:

1 — aktivnu čađu
2 — poluaktivnu čađu
3 — neaktivnu čađu.

Čađa se upotrebljava u industriji gume za auto-gume (ove sadržavaju oko 30% fine čađe), u auto-industriji, za proizvodnju tiskarskih i litografskih boja, u industriji boja i lakova, za eksplozive, kao punilo za patrone »oksilikvit« i dr.), pri površinskoj obradi čelika, za radukciju metala, za čišćenje transformatorskih ulja, pri poliranju optičkog stakla, kao dodatak betonu, pri izgradnji auto-strada i ivičnjaka (obojena mjesta!).

U najnovije vrijeme čađa se klorira, a proizvodi se upotrebljavaju kao pomoćna sredstva za kaučuk (klorirana čađa).

14.143 Katran

Katran je crna, odnosno smeđa komplicirana smjesa spojeva koji nastaju suhom destilacijom prirodnih tvari kamenog ugljena, smeđeg ugljena, treseta, odnosno drveta. Ti spojevi dolaze kao tekući ili polučvrsti proizvodi, koji se razlikuju po svom porijeklu. Katran je karakterističnog mirisa.

Razlikujemo: katran kamenog ugljena, drvni katran (od tvrdog drveta), borov katran (od borovine) itd.

Primjenjuje se u proizvodnji boja i lakova, za proizvodnju krovne ljepenke, u kemijskoj i farmaceutskoj industriji, u građevinarstvu za izolacije, za impregniranje drveta, u medicini itd.

14.144 Bitumen

Bitumeni se dobivaju preradom nafte, tamno su obojeni, polučvrsti do tvrdolomljivi i topljivi te u ugljičnom disulfidu topljivi dijelovi prirodnog asfalta.

Bitumeni su zapravo smjese visokomolekularnih ugljikovodika. To su koloidni sistemi (većinom soli), koji u uljastoj osnovnoj masi sadržavaju tamne smolaste ili ugljenu slične djeliće bogate ugljikom srednje molekularne težine 300—3 000. Vrlo su postojani prema alkalijama, razrijeđenim kiselinama i otopinama soli, nepropusni su za zrak i dr. pa se primjenjuju za zaštitu metala itd. Ograničeno bubrenje u vodi i minimalna propusnost za vodu i vodenu paru dopuštaju upotrebu bitumena kao materijala za brtvljenje.

Zbog svoje ograničene električne vodljivosti bitumen služi kao izolacioni materijal.

Dalje se taj proizvod primjenjuje u proizvodnji krovne ljepenke, kao masa za lijepljenje, kao sredstvo za odbijanje vode u građevinarstvu, za oblaganje električnih kabela, za zaštitne protukiselinske crne lakove (za automobile, za strojeve, peći, pisaće i šivaće strojeve itd.), za kokilni lak, kao premaz, za telefonske i telegrafske stupove, za natapanje (impregniranje) materijala za pakovanje, za električne baterije.

14.145 Asfalt

Asfalti su smjese bitumena i mineralnih tvari (kamenog brašna, pijeska, šljunka i dr.). Pretežno se dobivaju tehnički i primjenjuju za građenje cesta te za podove industrijskih pogona, za krovne ljepenke itd.

Razlikujemo:

— pješčani asfalt
— asfaltni beton
— lijevani asfalt
— asfaltni makadam
— asfaltni mastiks itd.

Asfalti stvaraju čvrste, smeđecrne do crne, mutne ili masno sjajne komade školjkastog ili poluškoljkastog prijeloma. Nalazišta prirodnih asfalta postoje u Kubi, u Kaliforniji, u Siriji, u Venezueli, na otoku Trinidad, u Nemačkoi, kod nas u Dalmaciji itd.

Prilično čisti asfalti zovu se asfaltiti. To su smjese visokomolekularnih ugljikovodika s ograničenom količinom spojeva kisika, sumpora i dušika.

14.146 Krovna ljepenka

Krovna ljepenka je sirov papir (bez tutkala) raznih debljina, dobiven iz otpadaka tekstilne industrije (vune, pamuka, lana, kudjelje i jute) natopljen katranom ili bitumenom te posut pijeskom s obje strane.

Dodavanje drvnih strugotina, piljevine, treseta, kaolina, ilovače i slično nije dopušteno.

Razlikujemo:

— katransku krovnu ljepenku i
— bitumensku krovnu ljepenku.

Krovne ljepenke označuju se **znakom vrste K** (= katranska) ili **B** (= bitumenska) — **brojem dužinskih metara** sirova papira širokog 1 m i teškog 50 kg. Na primjer, broj 100 znači 100 metara dužine.

U novije vrijeme uvedeno je označavanje sirova papira po **težini kvadratnog metra.**

Staro označavanje (m)	80	100	125	150	200
Novo označavanje (g/m^2)	625	500	400	333	250

Te se ljepenke primjenjuju za pokrivanje krovova, na drvenoj oplati ili tavanici od armiranog betona, kao podloga za cement, za pokrivanje crijepom i škriljcem, za izolaciju.

14.147 Kitovi

Kitovi su gusto tekuće, tjestaste ili čvrste mase, koje uz organske sastojine sadržavaju i anorganske (vezivo, punila s malo hlapljivih tvari ili bez njih). Između kitova i ljepila ima mnogo prijelaza pa ih moramo međusobno razlikovati.

Služe za **ispunjavanje** sastavaka, pukotina, rupa i neravnina.

Ljepila su, protivno od kitova, manje-više tekuća i sastoje se gotovo uvijek od organskih tvari ili smjese tih tvari. Ona se nanose u tankom sloju na spojne površine, većinom za **lijepljenje** tankih i elastičnih predmeta (filmova, papira, kartona i sl.).

Djelovanje kitova temelji se prvenstveno na njihovu prianjanju (adheziji). Površine na koje se nanose moraju biti očišćene od prašine ili drugih nečistoća, eventualno malo ohrapavljene ili tanko prekrivene odgovarajućim premazom.

Na prianjanje povoljno djeluje stanovita kemijska srodnost između kita i materijala na koji se nanosi (npr. vođeno staklo vrlo dobro prianja na obično staklo jer su to srodni silikati), Univerzalnih kitova nema pa se za određene svrhe mora izabrati poseban kit. Pri pripremi kitova čvrsti materijali (punila i dr.) moraju biti u finoj, praškastoj, a ne grubozrnatoj formi.

14.147.1 Vrste kitova

Kitovi se mogu podijeliti prema **načinu** svoje **reakcije** ovako:

1 — Taljivi kitovi su obično čvrsti, tale se pri zagrijavanju bez gubitaka i nakon toga otvrdnjavaju (npr. taljenje smola, voskova, pečatnog voska uz dodatak sumpora, kremenog, staklenog i željeznog praha itd.).

2 — Kitovi s hlapljivim tvarima su vezivne čvrste supstancije otopljene u hlapljivom otapalu, koje isparava tokom stajanja uz manje gubitke (npr. otopina celuloida u amilnom alkoholu, otopina šelaka u alkoholu, otopina sumpora ili gutaperke u ugljičnom disulfidu i sl.).

3 — Reaktivni kitovi su prvobitno tjestaste smjese tvari, koje stajanjem otvrdnu kemijskom reakcijom (npr. gips ili sadra, sorel-cement, željezni kit i dr.).

Prema **glavnim sastojinama** tvari sadržanim u kitovima postoje npr. kitovi na bazi lanenog ulja, voskova, umjetnih smola, kaučuka, katrana, vapna, gipsa, vodenog stakla, metala i metalnih oksida itd.

Prema **glavnoj svrsi upotrebe** razlikujemo kitove za staklo, za staklenu robu, porculan, mramor, metale, gravere, peći, lopatice (ličilački, stolarski), za drvo, krovove, linoleum, kožu, pogonsko remenje i tako dalje.

Kiseli kitovi otporni su prema djelovanju kiselina.

Postoje mnogobrojne recepture za pripremu kitova.

14.15 EKSPLOZIVI

Eksplozivi su kemijski spojevi ili smjese u čvrstom ili tekućem stanju, koji se pod utjecajem topline, mehaničkim djelovanjem (trenjem, udarcem ili električnom iskrom, odnosno inicijalnim paljenjem) trenutno pretvore u veliku količinu vrućih plinova, koji zbog ogromnog i naglog povišenja temperature zauzmu vrlo velik volumen. Pri tome plinovi izvrše jak eksplozivan pritisak na svoju okolinu. Eksplozivna toplina potječe većinom od procesa oksidacije. Pretežni dio eksploziva sastoji se od ugljika, C, vodika, H, dušika, N, i kisika, O. Pri eksploziji se ugljik i vodik oksidiraju s prisutnim kisikom u CO_2 (odnosno CO) i u H_2O. Dušik prelazi u NO, NO_2 ili ostaje kao N_2. Ako je prisutan sumpor (kao u crnom barutu), on će izgaranjem preći u SO_2 ili SO_3.

U svakom slučaju potrebno je da eksploziv sadržava dovoljnu količinu kisika.

14.151 Vrste eksploziva

Nabrojit ćemo eksplozive prema **načinu djelovanja.**

1 — **Razorni eksplozivi (brizantni)** imaju vrlo veliku brzinu raspada (1/20 000—1/50 000 s).

Ovdje ubrajamo nitroglicerin, dinamit, praskavi pamuk, pikrinsku kiselinu, kloratne eksplozive.

2 — **Eksplozivi za oružje** ne smiju imati veliku brzinu raspada — oni eksplodiraju lagano. Ovamo spadaju: crni barut, bezdimni barut i dr.

3 — **Inicijalni eksplozivi** služe za paljenje drugih eksploziva, vrlo velike su brizantnosti, tj. eksplodiraju u najkraćem vremenu. Ovamo spadaju praskava živa (živin fulminat) i olovni azid, koji služe za punjenje kapsli, upaljača, detonatora.

4 — **Pirotehničke tvari** primjenjuju se u pirotehnici za izradu signalnih i svijetlećih, praskavih, pogonskih, zvučnih (pištajućih), dimećih i zamagljujućih, plinskih i svijetlećih raketa.

Prema **obliku** u kojem se primjenjuju eksplozivi razlikujemo: metke (patrone), kapsle, upaljivače, štapine, fitilje i dr.

Prema **sastavu** eksplozive dijelimo u tri grupe:

1 — Eksplozivna tvar je smjesa ugljikovih i kisikovih spojeva. Pretežni dio kisika nije u molekuli koja eksplozivno reagira, nego u nekoj drugoj molekuli (npr. crni barut, perkloratni eksplozivi, nitrati s drvenim ugljenom i sumporom i dr.).

2 — Eksplozivne tvari u svojoj molekuli imaju potrebnu količinu kisika za izgaranje (npr. trinitrotoluol-trotil, nitroglicerin, puščani pamuk i dr.).

3 — Inicijalni eksplozivi su pretežno endotermi spojevi; raspadom daju potrebnu energiju, koja dovodi do eksplozije glavnu masu (npr. praskavu živu, olovni azid i dr.).

14.152 Pojedini eksplozivi

1 — Crni barut je smjesa 75% KNO_3, 10% S i 15% drvnog ugljena. Sastav smjese varira. Crni barut je baza za puščani prah za lovačke puške, za vojničke je to praskavi pamuk.

2 — Nitroglicerin je ester dušične kiseline, bezbojna do slabo žućkasta tekućina. Gustoća mu je 1,6 g/cm³. Bez mirisa je, topljiv u alkoholu, eteru, benzolu, kloroformu, ledenoj octenoj kiselini. Nije topljiv u vodi, u ugljičnom disulfidu, benzinu, niti u smjesi koncentrirane HNO_3 i H_2SO_4 (iz kojih se dobiva dokapavanjem glicerina). Otrovan je. Eksplodira na udar! Potreban je najveći oprez pri radu!

Dinamit je smjesa nitroglicerina i etilenglikol-dinitrata, tzv. eksplozivno ulje, kojim je natopljen ugljeni materijal (prije infuzorijska ili diatomejska zemlja) ili smjesa drvne celuloze i brašna. Želatinirani dinamit je želatinirano eksplozivno ulje. U amonijevu dinamitu upotrijebljen je amonijev nitrat mjesto eksplozivnog ulja. Najveći oprez pri radu!

3 — **Nitroceluloza** je celulozni ester dušične kiseline, dobiven tretiranjem čistog suhog pamuka (lintera) ili drvne celuloze smjesom dušične i sumporne kiseline.

4 — **Trinitrotoluol** ili **trotil** (tolit, tritol, TNT)

Bijel do žućkast kristalni prah. Talište mu je oko 80°C pa se može lijevati u zrna. Vrlo je osjetljiv na udar. Teško se pali, a zapaljen mirno izgara. Uz jako inicijalno paljenje detonira vrlo jako.

Upotrebljava se za vojne svrhe, bombe, torpeda i dr.

Za rudarski eksploziv dolazi u kapslama i u detonacionom štapinu.

Dobiva se nitriranjem toluola, smjesom dušične i sumporne kiseline te kristalizacijom proizvoda u alkoholu.

Gustoća mu je 1,654 g/cm³, talište 80,9°C. Pri 240°C eksplodira!

BEARA Ljubomir, dipl. inženjer strojarstva
BODROŽIĆ Ivica, dipl. inženjer strojarstva
ESIH dr. Ivan, dipl. inženjer kemije
GORNIK Boris, dipl. inženjer strojarstva
GRIM Miroslav, dipl. inženjer strojarstva
HRIBAR dr. Josip, dipl. inženjer strojarstva
JURDANA Nedeljko, dipl. inženjer strojarstva
MULC Andrija, dipl. inženjer strojarstva
POVRZANOVIĆ Aleksandar, dipl. inženjer strojarstva
REBEC Bruno, dipl. inženjer strojarstva
ŠAVAR mr. Šime, dipl. inženjer strojarstva
VELEBIR Krešimir, dipl. inženjer strojarstva
VUKELIĆ Nikola, dipl. inženjer strojarstva
ŽGANEC Željko, dipl. inženjer strojarstva

TEHNOLOŠKI POSTUPCI

211 OBRADA SKIDANJEM STRUGOTINE — Osnove — Tokarenje — Blanjanje — Bušenje — Glodanje — Grebanje (provlačenje) — Brušenje — Ljuštenje — Rezanje — Ozubljivanje — Lepanje — Honanje — Superfiniš — Poliranje — Ručna obrada — Specijalne vrste obrade *(Šavar, Bodrožić, Jurdana)*

212 ALATNI STROJEVI — Elementi alatnih strojeva — Tokarilice — Blanjalice — Bušilice — Glodalice — Provlačilice — Brusilice — Strojne pile i turpije — Strojevi za ozubljivanje — Strojevi završne obrade površine — Specijalni strojevi *(Velebir, Bodrožić)*

22 PLASTIČNA OBRADA — Iz teorije plastičnog oblikovanja — kovačka proizvodnja — Duboko vučenje — Savijanje — Provlačenje — Postupci hladnog oblikovanja — Proizvodnja šipkastog polufabrikata pomoću ekstruzije — Valjanje *(Hribar, Povrzanović, Mulc)*

23 LIJEVANJE — Kalupni materijal — Izrada kalupa — Sušenje kalupa i jezgri — Sastavljanje zasipa za sivi liv — Peći za taljenje sivog liva — Izrada kovkastog liva — Izrada čeličnog liva — Izrada liva obojenih metala — Školjkasti, precizni i tlačni liv — Centrifugalni liv — Čišćenje odljevka — Greške na odljevcima — Popravljanje odljevaka *(Grim)*

24 SPAJANJE — Zavarivanje — Rezanje i žlijebljenje metala — Lemljenje — Lijepljenje *(Beara, Vukelić)*

25 POVRŠINSKA ZAŠTITA — Vrste korozije i njeno ekonomsko značenje — korozivna svojstva konstruktivnih materijala — Zaštitne prevlake — Razne metode zaštite *(Esih)*

26 PRERADA PLASTIČNIH MASA — Osnovi — Injekciono brizganje — Prešanje — Ekstrudiranje — oblikovanje gotovih proizvoda na toplo (termooblikovanje) — Sintrovanje u vrtlogu — Nanošenje plastičnih masa plamenim štrcanjem — Obrada skidanjem strugotine — Postupci dotjerivanja površina — Spajanje elemenata — Prerada ekspondirajućeg poliestera — Prerada poliesterskih smola *(Žganec)*

27 PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA — Faktori koji utječu na točnost pri obradi — Točnost izrađenih dijelova — Dodaci za obradu — Stupanj korištenja materijala — Baze i mjere — Operacije — Tehnološki i proizvodni proces — Principi projektiranja tehnoloških procesa — Tehnološka dokumentacija — Pomagala u radu tehnologa — Grupna tehnologija *(Gornik)*

28 SASTAVLJANJE PROIZVODA — Uvod — Vrste spojnih površina — Spojevi pri sastavljanju strojeva i mehanizama — Lanac dimenzija — Priprema dijelova za spajanje *(Jurdana)*

29 STEZANJE I MJERENJE NAPRAVE — Općenito — Podjela naprava — Utjecaji na stezne i mjerne naprave — konstrukcijski elementi naprava — Osnovni proračun stezanja kod naprava — Analiza ekonomičnosti — Primjer konstrukcije i mjerenja u mjernoj naprav *(Rebec)*

ŠAVAR Šime, dipl. inženjer strojarstva
BODROŽIĆ Ivica, dipl. inženjer strojarstva
JURDANA Nedeljko, dipl. inženjer strojarstva

OBRADA SKIDANJEM STRUGOTINA

211.01 OSNOVE OBRADE SKIDANJEM STRUGOTINE *(Šavar)* 416
Alati — Teorija stvaranja strugotine — Strugotina — Sile rezanja — Osnovna kretanja alata i materijala — Obrađena površina

211.02 TOKARENJE *(Šavar)* 427
Alati — Elementi za formiranje strugotine — Brzina rezanja — postojanost alata — Sile rezanja — Snaga — Fino tokarenje

211.03 BLANJANJE *(Šavar)* 441
Opis rada i podjela postupaka — Alati — Brzine rezanja — Sila rezanja — Snaga

211.04 BUŠENJE *(Šavar)* 447
Alati — Sile na svrdlu — Brzina i snaga rezanja — Specifična zapremina strugotine — Postojanost alata — Presjek strugotine i opterećenja svrdla — Presjek strugotine i opterećenja razvrtača

211.05 GLODANJE *(Šavar)* 455
Opis rada i podjela postupaka — Alati i njihovi kotovi — Brzine rezanja — Posmik — Debljina strugotine — Postojanost alata — Sile rezanja — Snaga

211.06 GREBANJE (PROVLAČENJE) *(Šavar)* 463
Alati — Brzine rezanja — Sile

211.07 BRUŠENJE *(Šavar)* 467
Načini brušenja — Alati — Oblici alata — Brzine rezanja — Sile — Oblik strugotine — Postojanost brusne ploče — Snaga

211.08 LJUŠTENJE *(Šavar)* 476

211.09 REZANJE (PILENJE) *(Šavar)* 477
Alati — Brzine rezanja — Sile rezanja

211.10 OZUBLJIVANJE *(Šavar)* 480
Izrada navoja — Izrada navoja na bušilici — Zupčanici

211.11 LEPANJE *(Šavar)* 488
Alati — Podjela

211.12 HONANJE *(Šavar)* 491

211.13 SUPERFINIŠ *(Šavar)* 493

211.14 POLIRANJE *(Šavar)* 494

211.15 RUČNA OBRADA *(Jurdana)* 495
Uvod — Turpijanje i brušenje — Grecanje — Sječenje

211.16 SPECIJALNE VRSTE OBRADE *(Bodrožić)* 499
Ultra zvučne brusilice — Elektroerozioni strojevi — Elektrokemijska obrada — Elektroanodno brušenje

Literatura:

1 — *Stanković Dr inž. Pavle*, MAŠINSKA OBRADA, I knjiga — »OBRADA METALA REZANJEM« — Gradevinska knjiga, Beograd 1962.
2 — *Zdenković Dr inž. Rudolf*, OBRADA METALA SKIDANJEM, skripta »REZANJE METALA« — Sveučilište, Zagreb 1965.
3 — *Hribar Dr inž. Josip*, OBRADA METALA, I dio — Sveučilište, Zagreb 1962.
4 — *Muren Dr inž. Hinko*, OBRADA SKIDANJEM STRUGOTINE — skripta VTŠ, Zagreb 1962.
5 — Kolegij autora, PRIRUČNIK za konstruktore REZANOG ALATA, izdanje Gradevinske knjige — Beograd 1964.
6 — Hütte, Taschenbuch für Betriebsingenieure (Betriebshütte), Band I, 1957.
7 — Tool Engineers Hand Book, 1949.
8 — *Peklenik Prof. dr J.*, MODERNE MERILNE METODE PRI RAZISKOVANJIH ODREZAVANJE KOVIN, Strojniški vesnik, br. 6—1958.
9 — *Peklenik Prof. dr J.*, O PRAVILNEM OŠTRENJU BRUSOV, Strojniški vestnik br. 4/5 — 1957.
10 — *Peklenik Prof. dr J.*, PRISPEVEK K TEORIJI BRUŠENJA, Strojniški vestnik 4/5 — 1959.
11 — *Peklenik Prof. dr J.*, NEUE STATISCHE UND DYNAMISCHE PRÜFMETHODEN DER PHYSIKALISCH-MECHANISCHEN UNTERSUCHUNGEN VON SCHLEIFKÖRPERN, Industrie-Anzeiger april 1960.
12 — *Puhar Pepo*, TEHNOLOGIJA ODREZAVANJA — I dio: Strojniški vestnik, Ljubljana 1964. — II dio: Strojniški vestnik, Ljubljana 1966.
13 — Kolegij autora: OBRABOTKA METALLOV REZANJEM, Moskva 1958.
14 — Kolegij autora: SPROVOČNIK TEHNOLOGA MAŠINOSTROITELJA, I i II tom, Moskva 1963.

OZNAKE:

a	dubina rezanja	mm	F	sila rezanja	kp
A	presjek strugotine	mm²	F'	sila kojom alat djeluje na obrađivani predmet	kp
A_1	presjek strugotine za jednu oštricu	mm²	F_a	natražna sila	kp
A_2	presjek strugotine za jedan zub	mm²	F_h	glavna sila rezanja	kp
A_{min}	minimalan presjek jezgre alata	mm²	F_m	srednja rezultirajuća sila	kp
A_z	presjek strugotine za jedan zub	mm²	F_o	sila u smjeru osi glodala	kp
b	širina glodanja	mm	F_R	vučna sila stroja	kp
B	širina pojasa habanja alata i širina brusne ploče	mm	F_s	posmična sila	kp
C_v	konstanta zavisna od materijala		F_s	horizontalna komponenta sile F'	kp
d	unutarnji promjer brusne ploče	mm	F_v	vertikalna komponenta sile F'	kp
D	promjer predmeta ili alata	mm	F_z	glavna sila rezanja jednog zuba	kp
D_1	promjer provrta prije upuštanja	mm	G_M	težina radnog stola	kp
D_b	promjer brusne ploče	mm	G_0	težina obrađivanog predmeta	kp
D_R	promjer regulacione ploče	mm	h	uspon zavojnice koju izrađujemo i debljina strugotine	mm
f_s	specifična sila rezanja	kp/mm²	h_1	udaljenost od osi oko koje oscilira kulisa	mm
f_{s1x1}	specifična sila pri presjeku strugotine $A = 1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$	kp/mm²	h_L	uspon vodećeg vretena	mm
f_{sm}	srednja specifična sila	kp/mm²	h_m	prosječna debljina strugotine	mm
			h_z	maksimalna debljina strugotine	mm
			i	broj oštrenja koji se može izvesti na alatu za vrijeme njegova trajanja — broj prolaza alata, prijenosni omjer	
			K	nabavna cijena glodala	d

OZNAKE:

l	dužina predmeta među šiljcima alatnog stroja i broj oštrenja glodala za vrijeme vijeka trajanja stroja	mm	v_b	obodna brzina brusne ploče	m/s
l_n	dužina efektivne dodirne površine	mm	v_d	brzina radnog hoda	m/min
L	dužina promatrane površine, dužina kulise	mm	v_{dmax}	maksimalna brzina radnog hoda	
m	modul — koeficijent vijeka trajanja		v_m	prosječna brzina radnog i povratnog hoda	m/min
m_1	minutni osobni dohodak radnika glodača	d/min	v_p	brzina povratnog hoda	m/min
m_2	minutni osobni dohodak radnika brusača	d/min	v_r	obodna brzina radnog predmeta	m/min
M	moment torzije	kp/cm	v_R	obodna brzina regulacijske ploče	m/min
n	broj okretaja (min^{-1}) ili broj dvostrukih hodova u minuti		v_t	obodna brzina brusne ploče	m/min
n_0	broj okreta obrađivanog predmeta pri brušenju	min^{-1}	V	zapremnina strugotine u minuti	cm³/min
n_L	broj okreta vodećeg vretena za jedan okret glavnog vretena		V_{spec}	specifična zapremnina skinute strugotine	cm³/min KW
n_R	broj okreta regulacione brusne ploče	min^{-1}	W	rad jednog zuba glodala za vrijeme jednog okreta	KW
n_v	broj okreta vodećeg vretena za jedan okret glavnog vretena		x	eksponent Kienzlove jednadžbe	
p_n	postotak nošenja profila površine		x_0	konstanta zavisna od materijala	
P_B	bruto snaga	KW	y_0	konstanta zavisna od materijala	
P_N	neto-snaga	KW	z	broj zubi glodala, oštrica upuštača, broj navoja na 1'' (col), broj hodova navoja	
r	ekscentricitet ručice	mm	α	slobodni (leđni) kut i kut kulise	
R	srednja aritmetska vrijednost $+y$	μm	α'	slobodni (leđni) radni kut	
R_{max}	maksimalna vrijednost hrapavosti površine	μm	β	kut oštrenja (kut klina)	
s	posmik u mm/okr. ili	mm/hod	γ	prednji (grudni) kut	
s'	posmična brzina	mm/min	γ'	radni prednji (grudni) kut	
s_a	aksijalni korak	mm/okr	δ	kut rezanja	
s_z	posmik na jedan zub glodala	mm/zub	ε	čeoni kut (vršni kut oštrice)	
S	dužina hoda pri blanjanju	mm	η	iskoristivost	
t	korak zuba	mm	$\varkappa$	kut namještanja	
t_0	ukupan vremenski gubitak izazvan zatupljenjem alata		$\varkappa_s$	kut namještanja stepenice za lomljenje strugotine	
t_1	prosječno vrijeme potrebno za skidanje i ponovo namještanje alata	min	λ	kut nadvišenja, kut nagiba regulacione ploče	
t_2	prosječno vrijeme potrebno za ponovno oštrenje glodala	min	μ	koeficijent trenja	
t_d	trajanje radnog hoda	min	μ_0	koeficijent smanjenja brzine rezanja pri povećanju dubine bušenja	
t_g	glavno vrijeme za izradu navoja		ρ	kut zaokreta alata	
t_p	trajanje povratnog hoda	min	σ_d	dopušteno naprezanje materijala alata	kp/mm²
T	postojanost alata	min	σ_L	lomna čvrstoća materijala	kp/mm²
v	brzina rezanja	m/min	σ_R	čvrstoća materijala na istezanje	kp/mm²
v_0	obodna brzina obrađivanog predmeta	m/min	φ	kut zahvata jednog zuba	
			ω	kut zavojnice ili kut nagiba kosih zubi	

211 OBRADA SKIDANJEM STRUGOTINE

211.01 TEMELJ OBRADE SKIDANJEM STRUGOTINE

Obrada skidanjem strugotine je skup postupaka pomoću kojih dobivamo potreban oblik obrađivanog predmeta da bismo s njega skinuli djeliće materijala koje nazivamo strugotinom. Ti djelići materijala vrlo su maleni u odnosu prema veličini materijala koji obrađujemo i takvog oblika da se više ne mogu direktno upotrijebiti za daljnju obradu.

Sve postupke obrade skidanja strugotine možemo s obzirom na način izvođenja obrade svrstati u dvije glavne skupine. To su:

1 — postupci ručne obrade
2 — postupci strojne obrade.

Postupci ručne obrade. Tu ubrajamo postupke koji se obavljaju ručno, a to su:

1 — sječenje ili zasijecanje sjekačima
2 — turpijanje
3 — grecanje (tuširanje).

Napomena. Piljenje, lepanje, brušenje, poliranje i druge obrade koje se sve manje obavljaju ručno uvrstili smo u postupke strojne obrade.

Postupci strojne obrade jesu postupci kod kojih nastupaju sile takve veličine da ručni rad više ne dolazi u obzir, već ga obavljamo na strojevima. To su:

1 — tokarenje
2 — blanjanje i dubljenje
3 — glodanje
4 — bušenje, upuštanje i razvrtavanje
5 — grebanje
6 — piljenje
7 — brušenje i
8 — ostali postupci fine obrade (pri kojima skidamo minimalne količine materijala).

Tu ubrajamo:

— lepanje
— honanje
— superfiniš
— poliranje
— elektroeroziju
— elektrokemiju
— ultrazvuk itd.

Koji ćemo od postupaka obrade skidanja strugotine odabrati, to ovisi ne samo u ekonomskim razlozima već i o tome kolika se točnost obrade traži i o potrebnoj kvaliteti obrađene površine.

Tablica 1. daje pregled dostiživih ISO-kvaliteta koje se mogu postići pojedinim postupcima obrade. Uz to je prikazana i kvaliteta obrađene površine, koja je definirana hrapavošću (μm).

Kvaliteta izrade raznih alatnih strojeva

Tablica 1.

Razna obrada			Na stroju ili uređaju	Dostižive kvalitete u izradi u tačnosti po ISO			
Postupak		Vrsta i red		Osovina	Provrt	Ravne površine	Hrapavosti površine R_{max} u μm
Tokarenje i istokarivanje		vrlo grubo	razne tokarilice	11—14	12—14		250—1 000
		grubo	revolveri	9—11	11—12		25—100
		fino	automati	8— 9	9—11		6,3—15
		vrlo fino	kopirne tokarilice itd.	7— 8	7— 8		1,6—4,0
		najfinije	precizne tokarilice	5— 6	6— 7		0,6—1,0
Blanjanje i dubljenje		vrlo grubo	blanjalice kratkohodne i dugohodne te dubilice obične i alatne			12—14	250—1 000
		grubo				10—12	40—160
		fino				7— 9	10—25
		vrlo fino				6— 7	4—6,3
Glodanje	obodno	grubo	glodalice: horizontalne, univerzalne, uzdužne, kombinirane, alatne itd.	obodno kružno glodanje s jednim ili s više zubi daje prema količini zubi za 2—1 skupinu lošiju kvalitetu tačnosti i površine nego obodno glodanje.		10—12	40—100
		fino				8—10	10—25
		vrlo fino				7— 8	4—10
	čeono	grubo				10—12	25—63
		fino				7— 9	6,3—16
		vrlo fino				6— 7	2,5—6,3
Bušenje	obično	predbušenje	razne bušilice: vertikalne s izložnikom, kombinirane, viševretenaste itd., precizne bušilice, koordinatne bušilice		11—14		40—100
		razbušivanje			9—11		16—25
	upuštanje	predbušenje ili završno bušenje			8—10		16—40
	razvrtavanje	fino			7— 8		2,5—6,3
		vrlo fino			7— 8		1,6—4,0
	fino bušenje (noževima)	najfinije			6— 7		0,6—1,0
Vlačenje (provlačenje i izvlačenje)		grubo	preše, provlačilice i izvlačilice		8— 9	9—10	40—100
		fino			7— 8	8— 9	10—25
		vrlo fino			6— 7	7— 8	2,5—6,3
		najfinije			5— 6	6— 7	1—2,5
Struganje (sawing)	grecanje	fino	ručno i strojno, raznim strugalima (grecalima)		7— 9	7— 9	6,3—25
		vrlo fino			6— 8	5— 7	4—6,3
		najfinije			4— 6	3— 5	2,5—4
	roliranje	najfinije	strojevi za roliranje	2— 3			1

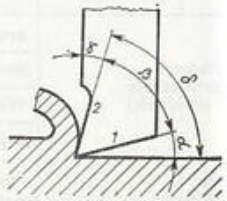
(nastavak) Tablica 1.

Razna obrada			Na stroju ili uređaju	Dostižive kvalitete u izradi u tačnosti po ISO			
Postupak		Vrsta i red		Osovina	Provrt	Ravne površine	Hrapavosti površine R_{max} u μm
Bušenje	obodno ili čeono	grubo	razne kružne brusilice, vanjske i unutrašnje te brusilice bez šiljaka	6—9	7—10	6—9	25—63
		obično		5—7	6— 8	5—7	6,3—16
		vrlo fino		3—5	4— 6	3—5	1—4
	vlačno (honanje)	najfinije	strojevi za honanje	2—3	3— 4	2—3	0,4—0,6
		predbušenje	uređaji i strojevi za superfiniš		6— 7		1—4
		završno			5— 6		0,4—0,6
	titrajuće	najfinije	ručno i strojno	1—3	1— 3	1—3	0,25—0,4
	brusnom prašinom (lepanje)	fino	raznim strojevima za lepanje	3—4	4— 5	3—4	1—4
		vrlo fino		2—3	3— 4	2—3	0,4—0,6
		najfinije		1—2	1— 3	1—2	0,1—0,4
Erozijske obrade	ultrazvuk	fino	ultrazvučne bušilice				2,5—10
		vrlo fino					1—1,6
	elektrotermički	grubo fino vrlo fino	elektroerozijske bušilice stroj za poliziranje				10—50, 15—50, 0,2—1
	elektrokemijski	najfinije					0,1—2,5

211.011 ALATI I NJIHOVI KUTOVI

Sredstva kojim se obrađuje materijal u toku proizvodnje nazivamo alatom. Različiti procesi obrade skidanja strugotine zahtijevaju i različite alate, koji imaju točno propisane geometrijske oblike. Svim alatima zajednički je njihov osnovni oblik, a to je klin.

Kod alata postoje dvije osnovne površine, kako to prikazuje ①.



① Oblik alata

Te dvije površine jesu:

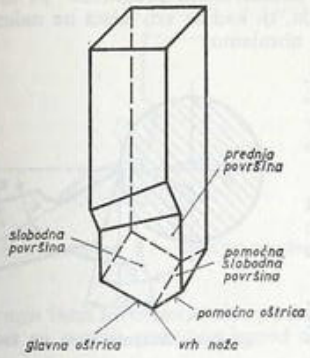
1 — **slobodna (leđna) površina** — To je ona površina na alatu koja je okrenuta obrađenoj površini predmeta; na ① označena je sa 1.

2 — **prednja (grudna) površina,** na ① označena sa 2. Ta je površina okrenuta u smjeru relativnog kretanja i po njoj klizi strugotina.

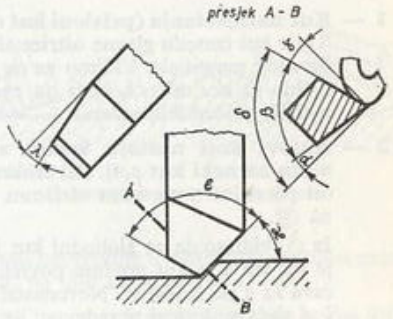
Te dvije površine stvaraju oštricu alata (rezni rub), koja je vrlo važna u vezi s hrapavošću obrađene površine i veličine sile rezanja.

Svaki alat gotovo po pravilu ima osim glavne i pomoćnu oštricu. Nju određuje pomoćna slobodna površina s prednjom površinom alata, kako se to vidi na ②.

Profilni noževi, glodala s raznim oblicima zubi, svrdla i drugi alati mogu imati složene oblike oštrica te više prednjih, odnosno slobodnih površina, a jednu zajedničku prednju površinu. Oblik i oštrina klinastog vrha alata određeni su kutovima. **Kutovi alata** su oni kutovi koji ne ovise o načinu pričvršćenja alata na alatni stroj, oni se samo mijenjaju ako alat ponovno brusimo. Osnovne površine alata određuju nam te kutove, a mjerimo ih u ravnini okomitoj na oštricu alata. Kutove alata prikazat ćemo na ③, i to na primjeru alata za grubu obradu na tokarilici.



② Blanjački nož — glavna i sporedna oštrica



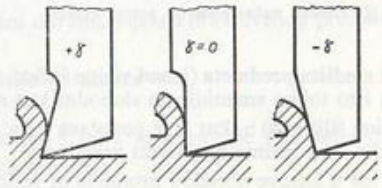
③ Kutovi alata

Predočeni alat ima dvije oštrice, i to glavnu i pomoćnu. Tu nam se pojavljuju ovi kutov, alata:

1 — **Slobodni (leđni) kut** α — To je kut između slobodne površine na alatu i obrađivane površine na predmetu. Kako se iz presjeka $A-B$ može vidjeti, kut α mora uvijek biti veći od nule da bi rezanje bilo moguće, a ne može biti negativan jer oštrica alata ne bi došla u dodir s obrađivanim predmetom.

2 — **Kut oštrenja (kut klina)** β — To je kut između slobodne i prednje površine alata.

3 — **Prednji (grudni) kut** γ — To je kut između okomite ravnine na obrađivanu površinu predmeta i prednje površine. On može zauzimati vrlo različite vrijednosti, kao što se vidi na ④. Može biti pozitivan, nula i negativan.



④ Kut prednje površine

4 — **Kut rezanja** δ — Definiran je kao zbroj vrijednosti slobodnog kuta α i kuta oštrenja β.

Znači da je:

$$\delta = \alpha + \beta$$

5 — **Čeoni kut (vršni kut oštrice)** ε — To je kut između glavne i sporedne oštrice, mjeren uvijek na prednjoj površini.

6 — **Kut nadvišenja (kut nagiba oštrice)** λ — To je kut između oštrice alata i ravnine na koju projiciramo alat pri crtanju.

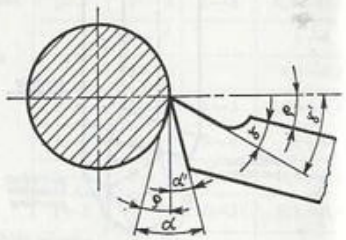
Ako geometrija onih alata koji se upotrebljavaju pri drugim procesima obrade skidanjem strugotine odstupa od naprijed prikazane geometrije, bit će prikazana pri opisu tih postupaka obrade.

Kutovi obrade su kutovi koje dobivamo različitim pričvršćenjem alata na alatni stroj, kao i različitim stezanjem alata u odnosu prema obrađivanom predmetu. Ti se kutovi javljaju kad se ne radi u normalnim uvjetima rada, tj. kad se vrh alata ne nalazi tačno u visini šiljka alatnog stroja. U kutove obrade ubrajamo:

1 — **Kut namještanja (prisloni kut oštrice)** $\varkappa$. To je kut između glavne oštrice alata i obrađivanog materijala. Vidimo ga na ③. Mijenjamo ga bez teškoća tako da promijenimo položaj pričvršćenja alata.

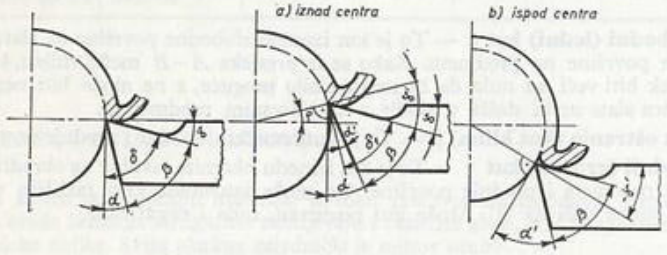
2 — **Kutovi koji nastaju kosim stezanjem alata za neki kut** ρ, tj. alat zaokrenemo oko osi paralelno s glavnom oštricom alata, kao na ⑤.

Iz ⑤ vidimo da se slobodni kut α smanjuje na kut α' a kut prednje površine γ povećava za ρ pa iznosi γ'. Novonastali kutovi α' i γ' sada su kutovi obrade.



⑤ Koso stezanje alata za kut ρ

3 — **Kutovi obrade koji nastaju podizanjem ili spuštanjem** alata za neku određenu visinu h, kao što se vidi na ⑥.



⑥ Položaj noža relativno prema centru

Ako nož podignemo iznad središta predmeta (iznad visine šiljka), povećavamo kut prednje površine od γ na γ', a za isto toliko smanjujemo slobodni kut α na α'.

Spustimo li nož ispod visine šiljka ⑥ b, kut α se povećava na α', a kut prednje površine γ za toliko se smanjuje tako da poprima negativnu vrijednost.

Kutovi alata mijenjaju se još u kutove obrade i promjenom veličine posmičnog kretanja.

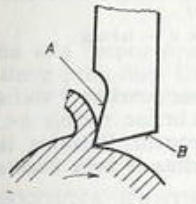
211.012 TEORIJA STVARANJA STRUGOTINE

Kod više-manje plastičnih materijala možemo nastanak strugotine objasniti deformacijom materijala ispred prednje površine alata i istodobno smicanjem u smičnoj zoni. Deformacija materijala prolazi najmanje kroz tri faze. Taj proces odvajanja strugotine promatrat ćemo na alatu s jednom oštricom jer je on najjednostavniji za promatranje, kako to vidimo iz ⑦, gdje je s A označena prednja površina, a s B slobodna površina na alatu.

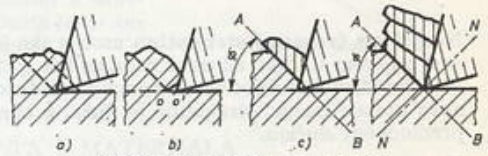
Alati sa dvije i više oštrica (svrdla, glodala itd.). jesu sastavljeni alati pa možemo smatrati kao da se proces rezanja izvodi s više alata, ali s jednom oštricom.

Nastanak strugotine po fazama prikazujemo na ⑧.

Prva faza odvajanja strugotine jest prodiranje alata s njegovom prednjom površinom (⑦, označeno s A) i postepeno deformiranje dijela materijala predmeta koji se nalazi ispred te površine. Pri toj deformaciji elementarna lamela strugotine oblika paralelograma pretvara se u trapez ⑧a.



⑦ A — prednja i B — slobodna površina



⑧ Nastanak strugotine po fazama

Druga faza odvajanja strugotine nastaje kad naprezanje u materijalu dostigne granicu loma pa nastaje pukotina ispred oštrice alata, na ⑧b označeno sa $O-O'$.

Treća faza odvajanja strugotine nastaje kad napon smicanja uslijed sile kojom djeluje prednja površina dostigne čvrstoću materijala pa u tom momentu nastaje cijepanje u smjeru smične zone (ravnine smicanja). Pri tome nastaje element strugotine, koji istodobno klizi duž ravnine smicanja i duž prednje površine alata ⑧c.

Pri daljnjem kretanju alata nastaje ispod već stvorenog komadića strugotine ponovno sabijanje, zatim opisane tri faze i nov element strugotine.

Taj element strugotine je spljošten jer na njega uz sile u smičnoj zoni i na prednjoj površini djeluju i sile od prije stvorenog djelića strugotine.

Te lamelice su međusobno zavarene na hladno, ako ne radimo s velikim brzinama, kod kojih se lamelica ugrijava do usijanosti. Čvrstoća zavarenih lamelica ovisi o plastičnosti materijala i o brzini rezanja, odnosno o temperaturi na koju se ta strugotina zagrijava.

211.013 STRUGOTINA

Strugotina je odsječeni dio materijala s obrađivanog predmeta. Njen oblik ovisi o čimbenicima kao što su:

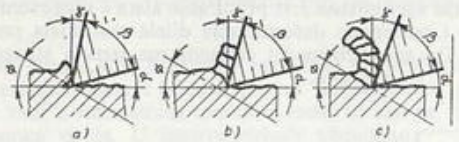
1 — osobina materijala predmeta
2 — brzina rezanja
3 — oblik alata (kutova i ruba za lomljenje strugotine)
4 — vibracija za vrijeme rada.

Prema strukturi strugotina može biti:

1 — lomljena (mrvičasta)
2 — nasječena i
3 — tekuća strugotina.

Nabrojene vrste strugotine mogu se vidjeti na ⑨.

Lomljena (mrvičasta) strugotina nastaje ako radimo s malim brzinama rezanja i istodobno upotrebljavamo maleni kut prednje površine ili ako okomica na ravninu smicanja prolazi kroz glavu noža, pa se strugotina zbog toga naknadno deformira i lomi. Pukotina ispred vrha noža je velika tako da je hrapavost obrađene površine velika. Takva strugotina obično se pojavljuje i kod krtih materijala koji nisu plastični.

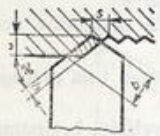


⑨ Vrste strugotine: a — lomljena, b — nasječena, c — tekuća

Nasječena (rezana) strugotina nastaje ako je kut prednje površine γ veći nego što je onaj u prvom slučaju, ali treba da je taj kut $\gamma < 8°$ i kad su brzine rezanja $v < 80$ m/min. Pojedini djelići strugotine ili lamelice međusobno su zavareni. Pukotina ispred vrha noža postaje manja, strugotina je duža, a obrađena površina je bolje kvalitete nego u prethodnom slučaju.

Tekuća (trakasta) strugotina pojavljuje se kod malih brzina, u slučaju kad je materijal predmeta vrlo plastičan (bakar, čisti aluminij), a kod čelika i sličnih materijala tek kod vrlo velike brzine. Kod običnih čelika, koje najviše upotrebljavamo u strojarstvu, dobivamo takvu strugotinu pri brzini iznad 80 m/min i ako je kut prednje površine $\gamma = 8 - 25°$.

Oblik strugotine zavisi još i od kuta smične zone i prednje površine alata. Prema izgledu i obliku strugotine možemo ponekad ocijeniti i osobine materijala, stanje alata da li radimo s ispravnim brzinama rada.



⑩ Tokarski nož u zahvatu

Presjek strugotine označavamo s A (mm²), a možemo ga izračunati iz dubine rezanja a (mm) i posmika s (mm/okret ili mm/hod). Isto tako presjek strugotine A možemo izračunati iz širine strugotine b (mm) i debljine h (mm) ⑩.

Prema tome, presjek strugotine izračunamo ovako:

$$A = a \cdot s = b \cdot h \qquad (\text{mm}^2)$$

Velik je utjecaj kuta namještanja na oblik strugotine. Taj kut nam pomaže da možemo izračunati širinu strugotine b i debljinu h prema jednadžbama:

$$b = \frac{a}{\sin \varkappa} \qquad h = s \cdot \sin \varkappa.$$

211.014 SILE REZANJA

Sile rezanja prouzročene su za vrijeme procesa rezanja otporom materijala koji alat pri svom kretanju mora svladati. Te sile su zavisne:

1 — od čvrstoće, žilavosti i strukture materijala obrađivanog predmeta, unutrašnjeg trenja, specifične topline i sposobnosti odvođenja topline
2 — od veličine i oblika strugotine
3 — od brzine rezanja
4 — od kuta prednje površine γ
5 — od oštrice alata.

Sila rezanja je rezultanta svih sila koje se pojavljuju pri rezanju.

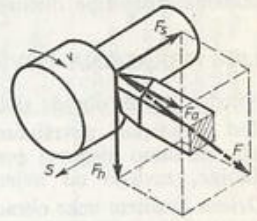
Pri ortogonalnom rezanju tu rezultantnu silu rastavljamo u dvije komponente. U općem slučaju kosog rezanja rastavlja se u tri komponente kako se to vidi na ⑪. To su:

1 — glavna sila rezanja F_h
2 — sila posmika F_s
3 — natražna sila F_a.

Glavna sila rezanja djeluje u smjeru brzine rezanja i obično je najveća od svih komponenti.

Sila posmika djeluje u smjeru posmičnog kretanja alata.

Natražna sila (otpor prodiranja) djeluje u smjeru radijalnog pomoćnog kretanja. Okomita je na ostale dvije sile i na već obrađenu površinu.



⑪ Sile rezanja

211.015 OSNOVNA KRETANJA ALATA I MATERIJALA

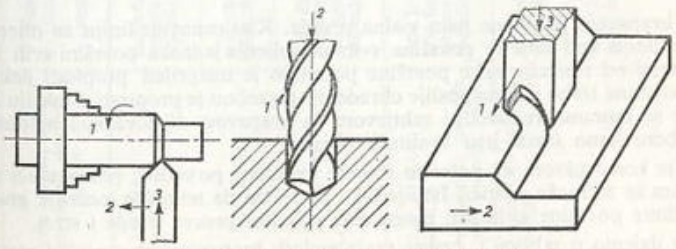
Pri obradi skidanjem strugotine proces rezanja ovisi o relativnom kretanju alata prema obrađivanom predmetu. Ovisno o njihovoj ulozi, razlikujemo tri kretanja, pri čemu opet ovisi o vrsti procesa obrade koje će kretanje izvoditi alat, a koje obrađivani predmet.

Ta kretanja jesu:

1 — **Glavno (radno) kretanje.** To je ono kretanje alata ili obrađivanog predmeta koje omogućava stvaranje, odnosno odvajanje strugotine. Glavno kretanje obavlja se brzinom v (m/min), a na ⑫ glavno kretanje označeno je sa 1 pri tokarenju, brušenju i pri blanjanju.

2 — **Posmično kretanje** (posmik) ili posmična brzina. To je hod primicanja alata ili obrađivanog materijala koji odgovara jednom okretu ili dvostrukom hodu radnog predmeta ili alata (ovisno o vrsti alatnog stroja). Veličinu posmika nazivamo korak. Posmično kretanje u odnosu prema glavnom kretanju vrlo je maleno. Ono se može obavljati za vrijeme čitavog vremena obrade ili poslije svakog radnog hoda. Veličinu posmika označavamo sa s, a mjerimo u mm/okret ili u mm/hod. Na ⑫ to je kretanje označeno sa 2.

3 — **Dostavno kretanje** je ono kretanje kojim pomičemo alat ili obrađivani predmet da bismo dobili potrebnu dubinu rezanja. Na ⑫ označeno je sa 3.



⑫ Osnovna kretanja alata i materijala

Glavno kretanje je u direktnoj vezi s brzinom rezanja. Ono može biti pravocrtno ili kružno. Ako je kružno, onda je većinom kontinuirano i jednolično, ako je pak pravocrtno, onda je po pravilu diskontinuirano i nejednoliko.

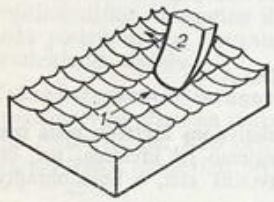
Posmično kretanje je pravocrtno, a može biti i kružno ili po nekoj drugoj krivulji. Prema tim kretanjima i prema tome tko ih izvodi, obrađivani predmet ili alat, postupke obrade skidanja strugotine dijelimo u tokarenje, blanjanje, glodanje, bušenje, brušenje itd.

211.016 OBRAĐENA POVRŠINA

Nijedan proces obrade skidanja strugotine ne ostavlja idealnu i glatku površinu.

Pod obrađenom površinom razumijevamo promjene koje nastupaju pri obradi materijala, ne samo njegovoj gornjoj površini već zahvaćaju i površinski sloj veće ili manje dubine, zavisno od uvjeta obrade.

Ocjena kvalitete neke obrađene površine temelji se na poznavanju njene hrapavosti i valovitosti, a to znači da moramo poznavati mikrogeometriju obrađene površine.

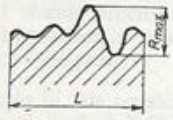


⑬ Hrapavost

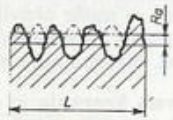
Razlikujemo hrapavost koja nastaje u smjeru glavnog kretanja (1) i hrapavost u smjeru posmičnog kretanja (2), ⑬. Za hrapavost u smjeru glavnog kretanja važno je odvajanje strugotine, a pri tome osim ostalih faktora značajnu ulogu ima i brzina rezanja, zatim nadvišena oštrica (naslaga na prednjoj površini) te materijal alata i geometrija alata. Na veličinu te hrapavosti mogu još utjecati elastične deformacije alata, alatnog stroja i obrađivanog predmeta.

Hrapavost u smjeru posmičnog kretanja je preglednija pojava od prethodne i može se približno odrediti na temelju alata i geometrije rezanja.

Definiciju pojma hrapavosti najlakše možemo dati ako promatramo presjek nekog radnog predmeta, pa pri tome jako povećamo profil te površine ⑭. Taj profil prikazuje nam se kao valovita linija s većim ili s manjim nepravilnostima. Hrapavost takve površine prikazana je visinskom razlikom između najnižeg udubljenja i najvišeg ispupčenja za promatrani dio površine, koji smo označili sa L. Tu hrapavost nazivamo maksimalnom hrapavošću. Budući da lokalno udubljenje ili ispupčenje može da jako djeluje na veličinu maksimalne hrapavosti, uvodi se i pojam srednje hrapavosti R_a ⑮.



⑭ Maksimalna hrapavost



⑮ Srednja hrapavost

Srednju hrapavost prikazuje nam visina profila. Kao osnovnu liniju za mjerenje visine uzimamo liniju kod koje je površina svih udubljenja jednaka površini svih ispupčenja. U zavisnosti od funkcije neke površine potrebno je unaprijed propisati neku kvalitetu koju ta površina treba da ima poslije obrade, tj. potrebno je propisati funkciju hrapavosti. Pri tome se moramo rukovoditi zahtjevom da hrapavost dijelova koji međusobno rade moraju bezuvjetno imati istu kvalitetu obrade.

Zadatak je konstruktora da pravilno izabere kvalitetu površine, poznavajući tehnologiju rada kojom se to može postići. Isto je tako potrebno da tehnolog poznaje granice dostižive kvalitete površine koju mu mogu dati pojedini proces izrade i stroj.

Na kraju dajemo u tablici 2. prikaz maksimalnih hrapavosti za različite vrste površina s oznakama koje im pripadaju.

Finoća obrađene površine i maksimalna hrapavost

Tablica 2.

OBRADA			Oznaka površine	Minimalna hrapavost R_{max} [μmm]	Zahtjevi kvalitete površine	Zadovoljava i uglavnom se primjenjuje u kvaliteti ISO tolerancije	UPOTREBA i udio nošenja površine $p_n = \frac{l_n}{l} 100$ l = efektivna dodirna površina
Vrsta obrade, izgled površine i stupanj obrade	Zajednički potupci ili posebni postupak za vanjske površine	unutarnje površine					
NAJFINIJA OBRADA	mikrohonanje (superfiniš); lepanje i mehaničko, elektrokemijsko i kemijsko poliranje		1 ▽	0,1	izvanredni	1 2 3	Granična mjerila i ostale površine finih mjerila, visoko napregnute klizne površine i za stalno prešana sjedišta (koja se ne skidaju), lepani zupčanici p_n = 85—90%
	mikrohonanje (superfiniš); lepanje, poliranje, elisiranje (anodno brušenje)		2 ▽	0,16—0,25	najviši	2 3 4	
	vrlo fino brušenje; poliranje: glačanje stlačenjem; vrlo fino vučenje (kroz kalibre)	honanje: ultrazvučno i fino elektroerozivno bušenje, vrlo fino razvrtavanje	3 4 ▽ ▽	0,4—0,6			
VRLO FINA OBRADA Zarezi obrade ne vide se više prostim okom i ne osjećaju se ili se jedva osjećaju dodirom (noktom)	fino brušenje; vrlo fino grecanje (shaving) i vlačenje, vrlo fino tokarenje dijamantom i keramičkim ili tvrdim metalima		5 ▽	1—1,6	visoki	4 5	Visoko napregnute klizne površine i prešana sjedišta koja su predviđena za skidanje, sjedišta kugličnih ležaja, brušeni zupčanici. p_n = 50—80%
	vrlo fino glodanje, vrlo fino blanjanje	fino izbušivanje nožem, fino razvrtavanje, kružno glodanje, unutarnje i obilazno, elektroerozivno bušenje i upuštanje					
	fino hladno vučenje, fino hladno valjanje		6 7 ▽ ▽	2,5—4	srednji	6 7	Vanjske površine napregnute izmjenično i trajno na savijanje i torziju te normalna klizna i prešana sjedišta za skidanje, sjedišta kugličnih ležaja, brušeni i nebrušeni, ali fino obrađeni zupčanici p_n = 20—50%

(nastavak) Tablica 2.

Vrsta obrade, izgled površine i stupanj obrade	OBRADA: Zajednički postupci ili posebni postupak za vanjske površine	OBRADA: Zajednički postupci ili posebni postupak za unutarnje površine	Oznaka površine	Minimalna hrapavost R_{max} [μmm]	Zahtjevi kvalitete površine	Zadovoljava i uglavnom se primjenjuje u kvaliteti ISO tolerancije	UPOTREBA i udio nošenja površine $p_n = \frac{l_n}{l} 100$ l = efektivna dodirna površina
FINA OBRADA Zarezi obrade vide se još prostim okom	obično brušenje fino i obično grecanje i vučenje, fino tokarenje		7 8 √ √	6,3—10			Dosjedi mirovanja (centrirni nastavci i zatici), prešana i klizna sjedišta bez osobitih opterećenja i zahtjeva, ljušteni, tokareni i glođani navoji, nebrušeni zupčanici, neobradeni precizno kovani i prešani komadi, vučene osovine i profili, precizni odljevi p_n = 5—20%
	razno fino i obično glođanje, fino i obično blanjanje, fino turpijanje	bušenje svrdlima i upuštanje upuštalima uz vođenje (vođećim tuljcima), obično razvrtanje (razvrtalima) grubo elektroerozivno			slabi	7 8 9	
	hladno vučenje i valjanje	bušenje i upuštanje					
	precizni i školjkasti liv hladno i precizno prešanje i kovanje		9 √	16—25			
GRUBA OBRADA Zarezi se vide i osjećaju	grubo brušenje grubo vučenje (izvlačenje — provlačenje iglama) grubo tokarenje		10 √	40—63			Grubo obrađene površine bez osobitih funkcija i izgleda, neobrađene površine na običnim prešanim komadima i precizno kovanim komadima, površine tlačnog liva p_n do 5%
	ljuštenje na tokarilici obično i grubo glođanje, finije rezanje škarama	obično i grubo bušenje svrdlima i upuštalima, grubo elektroerozivno bušenje	11 √		minimalni	9 10 11	
	kokilni i tlačni liv prešanje i kovanje u ukovnju, fino pjeskarenje i kugličenje		12* √	100—160			
BEZ OBRADE ILI ČIŠĆENJE (čišćenje gdje je potrebno ili eventualno neka grublja neodređena obrada)	rezanje autogeno ručno turpijanje toplo valjanje i vučenje toplo prešanje i kovanje razni obični oblici lijevanja i obično pieskarenje i ostala čišćenja		13 √ 14 √	250—400 630—1 000 ...—4 000	bez posebnih uvjeta	12—18	Čiste površine sirovih, valjanih, prešanih, kovanih i lijevanih komada te potpuno sirove površine istih komada

211.02 TOKARENJE

Tokarenje je postupak obrade skidanja strugotine, koji se odlikuje kontinuiranim rezom i konstantnim presjekom strugotine. Taj postupak primjenjujemo za obradu okruglih predmeta, ali je isto tako moguća obrada ravnih površina, pa i nekih drugih oblika ako su slični rotacijskim tijelima. Nekoliko primjera tokarenja prikazano je na ①.

Glavno kretanje (1) je kružno, a obavlja ga obrađivani predmet.

Posmično kretanje (2), kao i sva dostavna kretanja (3) potrebna za određivanje dubine rezanja ili za postizavanje nekog osobitog oblika obavlja uvijek samo alat.

Prema smjeru posmičnog kretanja u odnosu prema osi obrađivanog predmeta tokarenje dijelimo ovako:

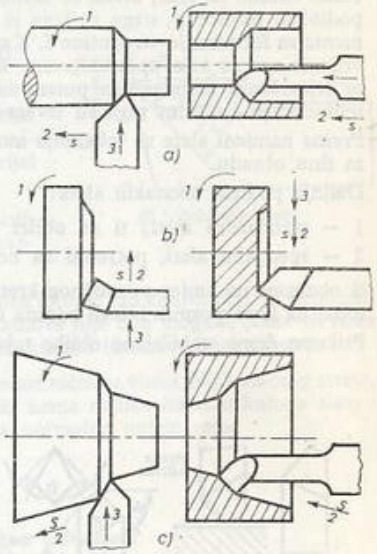
1 — **Uzdužno tokarenje** ①a. Može biti vanjsko ili unutarnje. Posmično kretanje je paralelno s osi obrađivanog predmeta.

2 — **Poprečno tokarenje** ①b. Također može biti vanjsko ili unutarnje. Posmično kretanje je radijalno i okomito na os obrađivanog predmeta.

3 — **Konusno tokarenje** ①c. Može biti vanjsko i unutarnje. Posmično kretanje je koso prema osi obrađivanog predmeta.

4 — **Tokarenje navoja,** i vanjskih i unutarnjih, i to na svim slučajevima cilindričnog i konusnog tokarenja. U tom slučaju je veličina posmika u točno određenom konstantnom i konusnom tokarenju. U tom slučaju je veličina posmika u točno određenom konstantnom odnosu prema broju okreta obrađivanog predmeta.

5 — **Profilno tokarenje.** Pri toj vrsti tokarenja obično nema posmičnog kretanja, nego samo dostavno kretanje za neku dubinu rezanja.



① Tokarenje: a — uzdužno, b — poprečno, c — konusno

6 — **Profilno kopirno tokarenje,** pri kojem možemo dobiti svaki zatraženi rotacioni oblik. Kretanje tokarskog noža sastoji se od ravnomjernog uzdužnog posmika i neravnomjernog poprečnog kretanja. Ako imamo kružno posmično kretanje, onda je to tokarenje kugle.

7 — **Neokruglo tokarenje** nastaje kad alat izvodi dostavno kretanje u radijalnom smjeru, ali u točno određenom odnosu s brojem okreta obrađivanog predmeta.

211.021 ALATI I NJIHOVI KUTOVI PRI TOKARENJU

Alate za tokarenje izrađujemo na tri načina. To mogu biti:

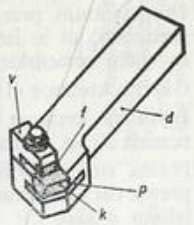
1 — Tokarski alati iz jednog materijala, koje još samo brusimo da bismo dobili tražene oblike, a izrađuju se iz već pripremljenih i termički obrađenih štapića (drilinga). Presjeci tih štapića su okrugli ili kvadratni.

2 — Tokarski alati, koji imaju samo rezni dio iz brzoreznog čelika, dok je držak iz jeftinijeg konstruktivnog čelika s lomnom čvrstoćom približno 70 kp/mm². Kod tih alata su rezni dio i držak međusobno zavareni na strojevima za tupo zavarivanje. Dopušteno je kaliti samo vrh alata, a ne i mjesto zavarivanja.

3 — Tokarski alati kod kojih kao rezni dio služi pločica iz brzoreznog čelika, sintrovanih karbida ili pak keramička pločica. Te pločice pričvršćuju se na držak od manje kvalitetnog materijala na dva načina, i to:

31— lemljenjem pločice na držak, kad prema temperaturnom opterećenju i potrebnoj smičnoj čvrstoći odabiremo odgovarajući lem

32— pričvršćenjem pločica mehaničkim putem. Na ② prikazan je držak i jedna pričvršćena pločica.



② Mehaničko pričvršćenje pločice

Kako vidimo na slici, držak se sastoji od tijela d, pločice k, podložne pločice p, stege v, koja je stegnuta vijkom, i elementa za formiranje strugotine f. Kao rezni dio u posljednje vrijeme sve se više upotrebljavaju keramičke pločice. One se pričvršćuju mehaničkim putem na držak. Podnose visoku temperaturu, a osim toga su izvanredno tvrde.

Prema namjeni alate za tokarenje možemo podijeliti na alate za grubu obradu i na alate za finu obradu.

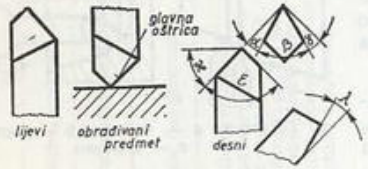
Daljnja podjela tokarskih alata:

1 — standardni alati; ti se oblici najviše upotrebljavaju.

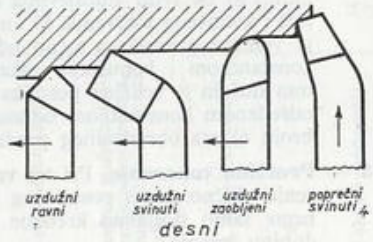
2 — specijalni alati, potrebni za neke specijalne radove.

S obzirom na smjer posmičnog kretanja razlikujemo desne i lijeve noževe, već prema tome da li se posmik izvodi zdesna ulijevo ili slijeva udesno ③.

Prikazat ćemo uobičajene oblike tokarskih noževa za razne operacije obrade.

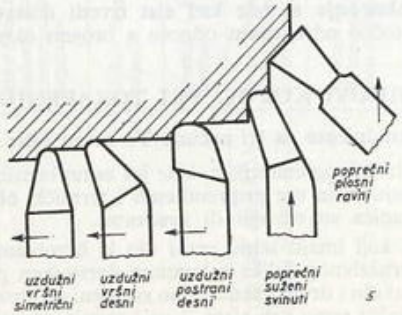


③ Standardni tokarski nož



④ Noževi za grubu vanjsku obradu

Noževi za grubu vanjsku obradu prikazani su na ④, dok su noževi za finu (završnu) obradu prikazani na ⑤.



⑤ Noževi za finu vanjsku obradu

Specijalni alati za tokarenje upotrebljavaju se za specijalne radove pa ih moramo posebno konstruirati i izraditi. Uglavnom možemo i njih podijeliti u tri skupine. To su:

1 — alati za finu obradu

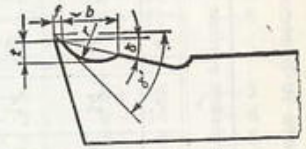
2 — alati za teško obradive predmete i

3 — profilni alati.

Kutove rezanja kod tokarskih alata možemo podijeliti ovako:

1 — kutovi alata prikazani na 211.011 ③

2 — kutovi obrade, prikazani na 211.011 ⑤ i ⑥.


⑥ Udubljenje noža

Te kutove i njihove definicije već smo prije opisali. Ovdje je potrebno navesti faktore o kojima oni ovise. To su: materijal obrađivanog predmeta, materijal alata i oblik alata.

Brojčani iznosi tih kutova razlikuju se kod pojedinih autora jer se razlikuju i uvjeti rada u kojima su izvršena ispitivanja.

Pod uvjetima rada razumijevamo da li je obrada gruba ili fina, rad kontinuiran ili prekinut, kakva je veličina posmika itd. Za određivanje tih kutova nije bilo moguće postaviti neke jednadžbe pa se oni zasnivaju na velikom broju praktičnih iskustava i istraživanja.

Ako su uvjeti rada normalni, tj. kad se vrh alata nalazi tačno u visini šiljka alatnog stroja, a uz to radimo s normalnim posmicima, praktički nema razlike između kutova alata i kutova obrade. Svi podaci u literaturi vrijede za normalne uvjete rada.

Kutovi prednje i slobodne površine u odnosu prema čvrstoći materijala

Tablica 1.

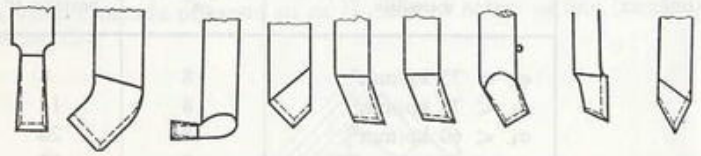
Čvrstoća obrađivanog materijala	Slobodni kut $\alpha°$	Kut prednje površine $\gamma°$
$\sigma_L > 75$ kp/mm²	8	8
$\sigma_L < 75$ kp/mm²	8	14
$\sigma_L < 60$ kp/mm²	8	20
$\sigma_L < 45$ kp/mm²	8	27

U tablicama koje slijede dajemo kutove rezanja i za standardne tokarske alate iz brzoreznog čelika i za kutove rezanja za alate iz sintrovanih karbida.

Kutovi rezanja za standardne tokarske alate iz brzoreznog čelika

Tablica 2.

Alati prema JUS K. Cl.	Slobodni kut α°					Kut prednje površine γ°					Čeoni kut ε°	Kut namještanja χ°
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e		
010	6	8	8	12	12	0	6	14	18	25	80—90	45—60—75
011	6	8	8	12	12	0	10	14	18	25	100—110	45
013	3	3	3	5	5	10	10	14	18	25	30	
014	3	3	3	5	5	10	10	14	18	18	30	
016	6	8	8	12	12	6	14	14	18	25	65	90
017	6	6	8	8	8	1	6	6	10	10		
012	6	6	8	8	8	0	6	6	10	10	100	
014	3	3	5	5	5	0	6	6	10	10	65	
020	8	8	12	12	15	0	6	6	10	10		



Oznake: a . . . . za tvrdi liv i tvrde krte legure bakra

b . . . . za čelik i čelični liv s čvrstoćom iznad 70 kp/mm², za tvrdi sivi liv, za žutu mjed, broncu itd.

c . . . . za čelik i čelični liv sa čvrstoćom 34 do 70 kp/mm², za sivi liv, za meku žutu mjed

d . . . . za žilavu i meku broncu, za jako meki čelik

e . . . . za aluminij i njegove legure

Kutovi rezanja tokarskih alata iz sintrovanih karbida

Tablica 3.

Materijal predmeta	Tvrdoća, čvrstoća (kp/mm²)	Slobodni kut α°	Kut prednje površine γ°		Kut nadvišenja λ°
			teška obrada	laka obrada	
Nelegirani konstrukcioni čelik	<35	5— 6	5—10	10— 20	3—4
	<50	5— 6	5—10	15— 18	4—5
	50— 60	4— 6	5—10	14— 18	4—5
	60— 70	4— 6	5—10	12— 16	4—5
	70— 85	4— 6	4— 8	10— 14	4—6
	85—100	4— 6	0— 6	8— 12	4—6
Legirani Mn, Cr—Ni, Cr—Mo čelici	70— 85	4— 5	2— 6	8— 16	4—5
	85—100	4— 5	0— 5	6— 14	5—6
	100—120	4— 5	0— 5	4— 8	5—6
	120—140	4— 5	0— 3	3— 8	5—6
	140—180	4— 5	—2— 0	0— 6	5—6
	180—240	3— 4	—6— 4	— 4— 3	5—6
Cr čelik nerđajući, Mn tvrdi, kaljeni i alatni čelici	>100	4— 6		8— 10	5
	60— 70	4— 6	3— 8	6— 14	4—5
	165—200	4— 6	3— 5	0— 8	4—6
	150—180	4— 5		2— 8	4
	150—180	4— 6		—10— 5	5
Čelični liv	35— 50	4— 6	0— 6	8— 16	2—4
	50— 60	4— 6	0— 6	6— 10	2—4
	60—100	4— 6	0— 5	4— 8	3—5
Sivi liv, kokilni liv, kovkasti liv	<160 HB	4— 6	0— 6	6— 12	2—4
	160—250 HB	4— 6	0— 6	2— 6	2—5
	>250 HB	4— 5	0— 6	0— 5	4—5
	< 50	3— 7		0— 5	2—4
	> 50	2— 4		—2— 3	4
	< 40	4— 8	0— 5	8— 12	4—5
	38— 50	4— 6	0— 5	6— 10	5
Bakar	22— 35	6—10		18— 30	3
Žuta mjed	80—100 HB	5— 8		8— 15	4
	>100 HB	4— 5		6— 10	4
Aluminij	< 50 HB	8—12		31— 45	0
Aluminij	< 50 HB	8—12		20— 35	4
Legure	50— 80 HB	5—12		12— 20	4

Ostali kutovi: $\varepsilon = 90°$, $\varkappa = 45°$, zaobljenje vrha alata $r = 2{,}5$ s

Kod pojedinih slučajeva mogu kutovi znatnije odstupati od pojedinih vrijednosti. Zato osim podataka iz tablica moramo uzeti u obzir još i ovo:

Slobodni kut α mora uvijek biti pozitivan. Ako je prevelik, brže se troši alat, a ako je premalen, povećava se trenje između alata i predmeta. Za unutarnje tokarenje uzima se kut α nešto veći od podataka navedenih u tablicama, a osobito pri manjim provrtima.

Prednji (grudni) kut γ ima pozitivne i negativne vrijednosti. Ako je pozitivni kut prednje površine velik, smanjuje se čvrstoća reznog dijela alata. Pozitivno je da se smanjuje sabijanje strugotine na prednjoj površini, a time i sile rezanja. Veliki kut prednje površine γ upotrebljavamo kod mekih materijala, a mali kut γ ili čak negativan kod jako tvrdih i krtih materijala.

Čeoni kut ε uzima se u većini slučajeva sa 90°.

Kut nadvišenja λ obično je pozitivan jer se time povećava vijek trajanja alata. Pri radu s prekinutim rezom uzima se veliki kut λ ($\lambda = 35°$) da zaštiti vrh alata. Pri finoj obradi $\lambda = 0$ ili je čak negativan. Pozitivni kut nadvišenja λ povećava natražnu silu, a to povećava vibracije i smanjuje tačnost obrade.

Kut namještanja $\varkappa$ ima vrlo velik utjecaj na veličinu natražne sile. Kod malih kutova ta je sila velika i dolazi do vibracija. Prema krutosti predmeta uzimamo kut namještanja ovako:

za vrlo krute predmete pri	$l/D <$ 6	$\varkappa = 5 - 30°$
za krute i stabilne predmete	$l/D = 6-10$	$\varkappa = 30 - 45°$
za polustabilne predmete	$l/D = 11-12$	$\varkappa = 45 - 75°$
za elastične nestabilne predmete kod	$l/D = 14$	$\varkappa = 75 - 90°$.

211.022 ELEMENTI ZA FORMIRANJE STRUGOTINE

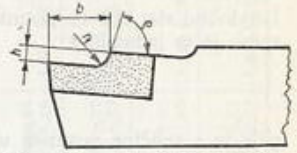
Kad pri radu dobivamo velike količine tekuće i dugačke strugotine, mi je drobimo, jer će nam ona u protivnom slučaju biti velik problem za nesmetan rad i za transport. Bezopasne uvjete rada pri obradi alatima iz sintrovanih karbida ili od keramičkih materijala možemo ostvariti:

1 — Izborom odgovarajućih kutova alata i režima obrade. Lomljenje strugotine postižemo kad radimo nožem kod kojeg na prednjoj površini izbrusimo kraću fazu. Ta faza ima negativan kut γ, pozitivan kut λ i odgovarajuću kombinaciju dubine rezanja a i koraka s. Sigurno drobljenje strugotine postiže se pri kutu $\gamma = 10°$ i kutu $\lambda = 5-10°$, te odnosu $a/s = 5-8$.

2 — Izradom umjetnog udubljenja na prednjoj površini noža. Takvi noževi se mnogo primjenjuju pri obradi na brzohodnim tokarilicama. Udubljenje se postavlja blizu glavne oštrice noža, pomaže uvijanju i drobljenju strugotine i olakšava proces rezanja. Prema podacima iz literature dobri rezultati dobivaju se ovim dimenzijama ⑥:

- širina $b = 1-2{,}5$ mm
- dubina $t = 0{,}1-0{,}3$ mm
- faza $f = (1{,}2-1{,}5)$ s
  $r = 3-5$ mm.

3 — Obrazovanjem stalnih ili podešljivih stepenica za lomljenje strugotine, kako to prikazuje ⑦. Takva stepenica usmjerava strugotinu i istodobno je lomi. Izrađuje se neposredno na pločici od tvrdog metala. Njen rub može biti paralelan s oštricom ili s njom zatvara kut namještanja $\varkappa_s$, koji može biti pozitivan, nula ili negativan. Dimenzije stepenice ne možemo izračunati, već samo odrediti pokusom. Kao orijentacija za određivanje odgovarajućih dimenzija stepenice može nam poslužiti tablica 4.



⑦ Stepenice za lomljenje strugotine

Dimenzije stepenica za lomljenje strugotine u zavisnosti od promjera predmeta i posmika

Tablica 4.

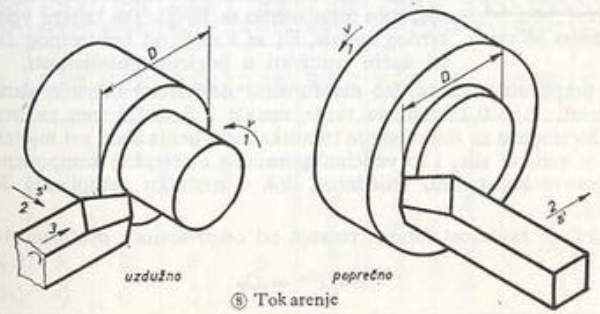
Promjer predmeta d (mm)	Posmik s (mm/okr.)	Radijus zakrivljenja r [mm]	Stepenica [mm]				Kut namještanja stepenice $\varkappa_s$
			b	h	r_1	ρ	
Do 60	0,16	0,4	4	1,6	1,4	45	
	0,2	0,5	4,4	1,8	1,6	do	6°
	0,25	0,7	5	2	1,8	60	
Preko 60	0,32	0,8	2,5	0,5	0,4		
	0,4	1	2,8	0,6	0,5		
	0,5	1,2	3,2	0,6	0,5	40	
	0,63	1,5	3,8	0,7	0,6	do	6°
	0,8	1,8	4,7	0,8	0,7	90	
	1	2	5,6	0,9	0,8		

Nedostatak je stepenice za lomljenje strugotine u tome što je potrebno stalno mijenjati njene dimenzije u zavisnosti od uvjeta rada, a to nije uvijek jednostavno. Zbog toga se često upotrebljavaju specijalni elementi za formiranje strugotine, koje pričvršćujemo mehaničkim putem na prednju površinu alata ②.

211.023 BRZINA REZANJA PRI TOKARENJU

Pri tokarenju je glavno kretanje kružno, a obavlja ga obradivani predmet. Prema tome, brzinom rezanja smatramo obodnu brzinu obradivanog predmeta. Tu brzinu izračunamo iz jednadžbe:

$$v = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1\,000} = [\text{m/min}]$$



⑤ Tokarenje

Iz ⑧ se vidi da su različite točke oštrice tokarskog noža u dodiru s različitim promjerima obrađivanog predmeta, pa su i brzine rezanja u tim točkama različite. Pri uzdužnom tokarenju obodnu brzinu računamo prema najvećem promjeru.

Istodobno alat obavlja posmično kretanje posmičnom brzinom s' u (m/min), a izračunavamo je iz jednadžbe:

$$s' = \frac{s \cdot n}{1\,000} = \text{m/min}$$

gdje je s veličina posmika u [mm/okr.].

Prema tome, brzinu rezanja možemo definirati kao relativnu brzinu između obodne brzine predmeta i posmičnog kretanja alata. Tu brzinu možemo dobiti i kao vektorski zbroj navedenih brzina.

$$\vec{v} = \vec{v}_o + \vec{s}$$

$$v = \frac{n}{1\,000} \sqrt{D^2 \cdot \pi^2 + s^2} \text{ [m/min]}$$

Približno možemo brzinu rezanja odrediti i na temelju tablica, kod kojih su dane brzine rezanja u zavisnosti od materijala predmeta, materijala alata i drugih faktora (tablica 5).

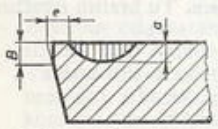
Posmična brzina s' vrlo je malena u odnosu prema brzini rezanja te samo u izuzetnim slučajevima dostiže 1% vrijednosti te brzine. Iz tog razloga određujemo posmik s u [mm/okr.] umjesto posmičnom brzinom s'. Prema tome, pod posmikom s razumijevamo put koji alat prijeđe za vrijeme od jednog okreta predmeta.

211.024 Postojanost tokarskih alata

Postojanost tokarskog alata je vrijeme koje alat efektivno provede u radu između dva oštrenja.

Kao utjecajne faktore pri postojanosti uzimamo:

1 — materijal i oblik alata
2 — materijal obrađivanog predmeta
3 — brzinu rezanja
4 — ostale faktore, kao što su alatni stroj, stabilnost predmeta obrade, oblik strugotine itd.



⑨ Širina pojasa habanja

Da bismo mogli odrediti trenutak zatupljenja alata, odnosno da bismo odredili kraj onog vremenskog razdoblja tokarenja između dva oštrenja, potrebno je poznavati kriterije za određivanje zatupljenja oštrice.

Kao prvi od tih kriterija možemo navesti širinu pojasa habanja, koju označujemo sa B ⑨. Taj kriterij vrijedi za alate od tvrdog metala, ali se i alati od brzoreznog čelika mogu na taj način ispitivati u pogledu postojanosti.

Kronenberg preporučuje da se kao maksimalno dopušteno habanje alata na slobodnoj površini prihvati B = 0,75 mm za tvrde metale i B = 1,5 mm za brzorezne čelike. Prema prof. Šlezingeru za određivanje trenutka zatupljenja alata pri mjerenju promatraju se promjene u veličini sila, i to veličina posmične i natražne komponente sile rezanja, koje imaju gotovo konstantnu vrijednost, dok u trenutku zatupljenja dobivaju nagao porast.

Teylor (Tejler) je zavisnost brzine rezanja od odgovarajuće postojanosti prikazao jednadžbom:

$$v \cdot T^m = C_T$$

Informativni tehnološki podaci za tokarenje po AWF — Tablica 5.

Materijal	σ_L kp/mm²	Alat	Slobodan kut $\alpha°$	Prednji kut $\gamma°$	V_{s40} [m/min] za posmik [mm/ok] 0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	Za odnos raznih brzina $V_{40} : V_{s40} : V_{s80}$	Za odnos drugih tvrdih metala $S_1 : S_2 : S_3$
Če 34 Če 37 Če 42	do 50	fs BRČ TM-»S_3« *	6— 8 4— 6	18—25 16—20	360 58 195	270 43 170	190 32 140	136 24 118	98 18 100	70 13 85	1,42 : 1,0 : 0,84 1,25 : 1,0 : 0,84	1,41 : 1 : 0,67
Če 50	50 do 60	fs BRČ TM-»S_3«	6— 8 4— 6	16—20 14—18	400 46 166	290 34 140	210 25 118	152 19 100	110 14 85	80 11 70	1,41 : 1,0 : 0,84 1,26 : 1,0 : 0,89	1,49 : 1,0 : 0,67
Če 60	60 do 70	fs BRČ TM-»S_3«	6— 8 4— 6	14—80 12—16	420 37 140	300 28 118	220 21 100	156 16 85	110 12 71	80 9 60	1,42 : 1,0 : 0,84 1,26 : 1,0 : 0,9	1,67 : 1,0 : 0,67
Če 70	70 do 85	fs BRČ TM-»S_3«	6— 8 4— 6	12—18 12—16	440 29 125	315 22 100	230 17 80	164 13 63	120 9,5 50	87 7,1 41	1,40 : 1,0 : 0,85 1,25 : 1,0 : 0,89	1,68 : 1,0 : 0,68
Če 85	85 do 100	fs BRČ TM-»S_3«	6— 8 4— 6	10—14 8—12	460 25 103	330 18 85	240 13 67	172 10 53	125 7,5 43	98 5,6 38	1,40 : 1,0 : 0,85 1,25 : 1,0 : 0,88	1,68 : 1,0 : 0,68
Lijevani čelik	30 do 50	fs BRČ TM-»S_3«	6— 8 4— 6	10—14 8—12	320 49 88	230 36 75	170 27 63	124 20 53	88 15 45	65 11 39	1,43 : 1,0 : 0,85 1,26 : 1,0 : 0,89	1,68 : 1,0 : 0,68
Lijevani čelik	50 do 70	fs BRČ TM-»S_3«	6— 8 4— 6	10—14 6—10	360 32 78	260 24 60	190 18 50	136 13 43	99 10 36	70 7,5 27	1,44 : 1,0 : 0,84 1,25 : 1,0 : 0,89	1,67 : 1,0 : 0,67
Lijevani čelik	70	fs BRČ TM-»S_3«	6— 8 4— 6	6—10 4— 8	390 19 48	285 15 40	205 11 36	150 8,5 28	102 6,3 24	72 4,8 20	1,40 : 1,0 : 0,84 1,25 : 1,0 : 0,89	1,68 : 1,0 : 0,66
Mn—Če C—Ni—Če Cr—Mo—Če i drugi legirani čelici	70 do 85	fs BRČ TM-»S_3«	6— 8 4— 6	12—18 12—16	470 29 125	340 21 100	245 15 80	167 11 63	145 7,5 50	112 5,3 42	1,40 : 1,0 : 0,85 1,25 : 1,0 : 0,89	1,68 : 1,0 : 0,68
	85 do 100	fs BRČ TM-»S_3«	6— 8 4— 6	8—12 6—10	500 23 83	360 17 71	260 12 54	185 8,5 45	132 6 36	92 (4,8) 30	1,41 : 1,0 : 0,85 1,25 : 1,0 : 0,89	1,66 : 1 : 0,67
	100 do 140	fs BRČ TM-»S_3« —	6— 8 4— 6	4— 6 4— 8	530 20 58	380 14 45	275 8 36	200 5,6 30	150 (4) 24	102 20	1,40 : 1,0 : 0,85 1,26 : 1,0 : 0,89	1,66 : 1 : 0,66

* fs — spec. sila [kp/mm²] BRČ — brzorezni čelik TM — tvrdi metal

(nastavak) Tablica 5.

Materijal	σ_L kp/mm²	Alat		Slobodan kut α°	Prednji kut γ°	V_{240} [m/min] za posmik [mm/ok] 0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	Za odnos raznih brzina $V_{60} : V_{240} : V_{480}$	Za odnos drugih tvrdih metala $S_1 : S_2 : S_3$
Nerđajući	140 do 180	fs *				570	410	300	215	155	105		
		BRČ		6— 8	4— 6	11	6,7	4,2				1,42 : 1,0 : 0,84	
		TM→S_4		4— 6	3— 6	36	28	22	19	16		1,27 : 1,0 : 0,89	1,70 : 1,0 : 0,68
Rđajući čelici	60 do 70	fs				520	375	270	192	133	95		
		TM→S_4		4— 6	8—12	53	43	34	28	22	18	1,25 : 1,0 : 0,85	1,68 : 1,0 : 0,68
Alatni čelici	150 do 180	fs				570	410	300	215	160	110		
		BRČ		6— 8	4— 6	10,5	6,3	3,5				1,43 : 1,0 : 0,85	
		TM→S_4		4— 6	0— 4	30	24	19	16	13	10	1,26 : 1,0 : 0,88	1,68 : 1 : 0,68
Manganov tvrdi čelik		fs				660	480	350	252	180	127		
		TM→S_4		4— 6	0— 4	24	19	15	12	10	8,5	1,26 ; 1,0 : 0,88	1,67 : 1,0 : 0,67
Sivi liv	do 200	fs				190	136	100	72	52	37		
		BRČ		6— 8	6—12	48	34	19	13	11	6,7	1,41 : 1 : 0,84	
		TM	G_1	5— 7	6—10	140	118	95	80	67	53	1,42 : 1 : 0,84	
Sivi liv	200 do 250	fs				290	200	150	108	79	55		
		BRČ		6— 8	4— 8	18	22	13	9,5	6,7	4,5	1,49 : 1 : 0,84	
		TM	H_1	5— 7	3— 6	106	90	73	65	53	44	1,42 : 1 : 0,84	
Sivi liv	250 do 400	fs				320	230	170	120	85	61		
		BRČ		6— 8	3— 6	24	17	11	7,1	5	3,4	1,42 : 1 : 0,84	
		TM	H_1	5— 7	2— 5	75	63	53	43	36	32	1,41 : 1 : 0,84	
Kovkasti liv		fs	H_1			240	175	125	92	64	45		
		BRČ	S_1	6— 8	12—16	43	30	20	14	9,5	6,9	1,43 : 1 : 0,84	
		TM	S_2	4— 6	10—12	106	90	70	63	53	44	1,42 : 1 : 0,85	
Tvrdi liv 65—90 tvrdoće po Shoreu		fs				330	260	190	136	98	70		
		TM	H_1	5— 7	0— 4	21	17	15	13	10	8	1,42 : 1 : 0,85	
Bakar		fs				210	152	110	80	55	46		
		BRČ		6— 8	25—30	66	53	38	28	21	16	1,20 : 1 : 0,89	
		TM	G_1	6— 8	25—30	500	450	375	335	300	280	2,24 : 1 : 0,67	

*fs — spec. sila [kp/mm²] BRČ — brzorezni čelik TM — tvrdi metal

(nastavak) Tablica 5.

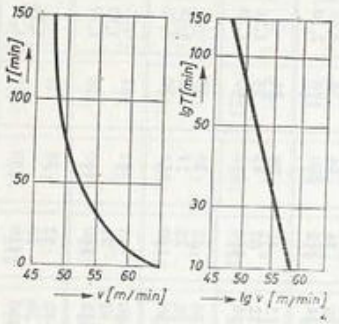
Materijal	σ_L kp/mm²	Alat		Slobodan kut α°	Prednji kut γ°	V_{240} [m/min] za posmik [mm/ok] 0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	Za odnos raznih brzina $V_{60} : V_{240} : V_{480}$	Za odnos drugih tvrdih metala $S_1 : S_2 : S_3$
Bakar kolektora s ulošcima tinjca		fs *				190	136	100	72	51	36		
		TM	G_1	6— 8	14—20	236	190	160	125			1 80 : 1 : 0,74	
Mjed	do 120	fs				160	115	85	60	44	32		
		BRČ		6— 8	8—14	140	95	63	43	27	21	1,33 : 1 : 0,84	
		TM	G_1	6— 8	8—14	600	530	450	400	355	315	2,24 : 1 : 0,66	
Crveni liv		fs				140	100	70	52	39	28		
		BRČ		6— 8	12—14	83	63	48	36	25	18	1,35 : 1 : 0,84	
		TM		6— 8	12—14	500	450	375	335	300	280	1,41 : 1 : 0,84	
Lijevana bronca		fs				340	245	180	128	93	65		
		BRČ		6— 8	6—12	63	48	40	32	27	21	1,32 : 1 : 0,84	
		TM	G_1	6— 8	6—12	355	280	236	200	180	165	1,77 : 1 : 0,77	
Zn—Al 10 Cu 2		fs				94	70	56	43	33	26		
		BRČ		8—12	6—10	43	40	38	38	36	34	2,10 : 1 : 0,70	
		TM	G_1	6— 8	6—10	250	236	224	212	200	190	2,10 : 1 : 0,70	
Čisti Al		fs				105	76	55	40	28	21		
		BRČ		8—12	35—45	224	170	112	67	43	28	1,76 : 1 : 0,76	
		TM		8—12	35—45	1320	1120	950	850	710	60	1,79 : 1 : 0,76	
Al visoko legiran sa Si 10—13%		fs				140	100	70	52	39	28		
		BRČ		6— 9	15—22	86	56	38	25	17	11	1,78 : 1 : 0,76	
		TM	G_1	6— 9	12—20	224	190	160	140	118	100	2,22 : 1 : 0,67	
Al-legure za valjanje (kovanje), lijevanje, legure za klipove	σ_L 8—30	fs				115	84	60	43	31	22		
		BRČ		7—10	18—25	75	48	32	21			1,77 : 1 : 0,76	
		TM	G_1	5— 7	12—18	300	250	212	180	160	128	1,77 : 1 : 0,75	
	σ_L 30—42	fs				140	100	70	52	38	28		
		BRČ		7—10	18—25	71	45	30	20			1,78 : 1 : 0,75	
		TM	G_1	5— 7	12—18	280	236	200	170	150	118	1,77 : 1 : 0,75	
	σ_L 42—58	fs				170	122	85	64	46	33		
		BRČ		7—10	18—25	67	43	28	19			1,77 : 1: 0,75	
		TM	G_1	5— 7	12—18	265	224	190	160	140	114	1,78 : 1 : 0,75	

* fs — specifična sila [kp/mm²] BRČ — brzorezni čelik TM — tvrdi metal

Ako tu zakonitost predočimo grafičkim putem, onda nam to predstavlja krivulju u normalnom T-v-dijagramu, dok grafičko predočivanje u dvostrukoj logaritamskoj mreži predočuje tu zakonitost kao pravac.

Iz ⑩ vidi se da su u drugom slučaju potrebne samo dvije tačke da bi se prikazala potrebna zavisnost, dok se ostale vrijednosti dobiju ekstrapolacijom.

Za opće primjere u pojedinačnoj proizvodnji obično uzimamo vijek trajanja T = 60 min. U ostalim slučajevima uzimamo toliko veći vijek trajanja koliko više vremena trošimo na oštrenje alata.



⑩ Dijagram postojanosti od brzine rezanja a — u normalnoj diagramskoj mreži, b — u dvostrukoj logaritamskoj mreži

Približne podatke za izbor vijeka trajanja pri tokarenju možemo naći u tablici 6.

Tablica 6.

Postupak obrade	Postojanost T (min)	
	BRČ	SK
Gruba obrada	30— 90	60—100
Fina obrada	60— 90	240—360
Najfinija obrada	120	480
Tokarenje navoja	45	120
Tokarenje na revolver-tokarilici	90—120	360—480
Tokarenje na jednovretenom automatu	120	480
Tokarenje na viševretenom automatu	150	600

BRČ — brzorezni čelik SK — sintrovani karbid

211.025 Sile rezanja pri tokarenju

Sile rezanja moramo poznavati da bismo mogli izraditi proračun čvrstoće alatnog stroja i alata te proračun pogonske snage i odrediti režim obrade.

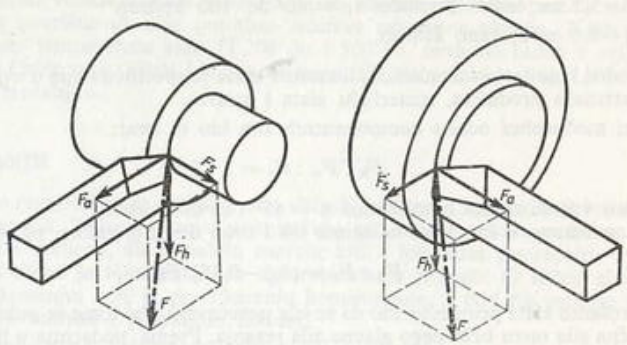
Rezultirajuća sila rastavlja se u tri komponente, i to:

1 — na glavnu silu rezanja F_h
2 — na posmičnu silu F_s
3 — na natražnu silu F_a.

To rastavljanje je jednostavno samo u slučajevima uzdužnog i poprečnog tokarenja, kako se to vidi na ⑪.

Glavna sila uvijek je u smjeru brzine rezanja i ona je najveća komponenta sile rezanja. Posmična sila suprotna je brzini posmika. Natražna sila je okomita na prve dvije komponente.

Pri ortogonalnom tokarenju bit će posmična sila jednaka nuli.



⑪ Sile pri tokarenju

Veličina sile rezanja ovisi o materijalu obradivanog predmeta, o veličini i obliku presjeka strugotine, o obliku alata, o brzini rezanja, o podmazivanju i o temperaturi predmeta.

Za izračunavanje glavne sile rezanja najčešće primjenjujemo jednadžbu:

$$F_h = A \cdot f_s \quad \text{(kp)}$$

U novije vrijeme preporučuje se izračunavanje specifične sile prema Kienzleu [Kincle]:

$$f_s = f_{s\,1x1} \cdot h^{-x}$$

Specifična sila $f_{s\,1x1}$ i eksponent Kienzleove jednadžbe Tablica 7.

Materijal predmeta	Čvrstoća, odnosno tvrdoća kp/mm²	$f_{s\,1x1}$	1 — x	x
Č. 0545	52	199	0,74	0,26
Č. 0645	62	211	0,83	0,17
Č. 0745	72	226	0,70	0,30
Č. 1531	67	222	0,86	0,14
Č. 1731	77	213	0,82	0,18
Č. 4320	77	210	0,74	0,26
Č. 4732	73	250	0,74	0,26
Č. 4731	60	224	0,79	0,21
Č. 4830	60	222	0,74	0,26
Č. 4720	59	229	0,83	0,17
SL 18	180 HB	99	0,88	0,20
SL 26	200 HB	116	0,74	0,26

Specifična sila rezanja f_s ovisi uglavnom o materijalu obrađivanog predmeta, kao i o geometriji alata. Za njeno približno računanje može se uzeti da je:

$$f_s = a \cdot \sigma_L = \text{konst.}$$

U toj jednadžbi je σ_L lomna čvrstoća materijala u kp/mm², dok je a koeficijent koji ovisi o materijalu. Taj koeficijent ima ove vrijednosti:

$a = 2{,}5-3{,}2$ za čelike čvrstoće $\sigma_L = 40$ do 100 kp/mm²

$a = 4{,}4-5{,}5$ za lijevano željezo.

U tablicama koje često susrećemo u literaturi dana je specifična sila u ovisnosti o posmiku s, o materijalu predmeta, materijalu alata i kutova.

Približni međusobni odnos komponentnih sila bio bi ovaj:

$$F_h : F_a : F_s = 5 : 2 : 1$$

Taj odnos vrijedi za kut namještanja $\varkappa = 45°$ i za oštar alat.

Pored tog odnosa u literaturi nalazimo još i neke druge podatke, na primjer:

$$F_a : F_s = (0{,}3-0{,}35)\ F_h$$

Kod istrošenih alata primjećujemo da se sile povećavaju. Pri tome se pokazalo da natražna i posmična sila rastu brže nego glavna sila rezanja. Prema podacima u literaturi možemo za istrošene alate uzeti odnos:

$$F_h : F_a : F_s = 5 : 4 : 3$$

Pri tome postoji porast glavne sile rezanja F_h za nekih 25% u odnosu prema vrijednostima kod oštrog alata.

311.026 SNAGA PRI TOKARENJU

Snagu koja nam je potrebna da se pri tokarenju obavi radnja rezanja nazivamo neto-snagom. Ona nam je nužna da svladamo sile rezanja pri nekoj određenoj brzini rezanja v. Tu snagu možemo izračunati iz jednadžbe:

$$P_N = \frac{F_h \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot 1{,}36} = \frac{A \cdot f_s \cdot v}{6\,120} \quad \text{(KW)}$$

Potrebna pogonska snaga motora koji pokreće alatni stroj nazvana je bruto-snagom. Ona je veća za odgovarajuće gubitke u alatnom stroju, a izračunavamo je iz formule:

$$P_B = \frac{P_N}{\eta} = \frac{A \cdot f_s \cdot v}{6\,120 \cdot \eta} \quad \text{(KW)}$$

Iskoristivost η kod tokarilica ovisi o konstrukciji i uhodanosti alatnog stroja. Za tokarilice starijih konstrukcija $\eta = 0{,}75$ do 0,95, dok kod manjih, ponekad kompliciranih strojeva nalazimo vrijednosti za $\eta = 0{,}75$ do 0,82.

211.027 FINO TOKARENJE

Nekad se najveća moguća točnost obrade i najbolja kvaliteta obrađene površine postizavala finim tokarenjem, no danas je ono zamijenjeno kružnim brušenjem. Od raznih načina finog tokarenja zadržalo se jedino još tokarenje dijamantnim alatima, kojima možemo praktično obrađivati sve materijale. Moramo ipak naglasiti da dijamantni alati nisu prikladni za čelik i za sivi liv te za tokarenje s većim presjecima strugotine.

Dijamantne alate dijelimo u četiri skupine prema njihovu obliku:

1. s bočnom glavnom oštricom
2. sa zaobljenom oštricom
3. s fazetnom oštricom i
4. s profilnom oštricom.

Svi dijamantni alati moraju biti vrlo čvrsto stegnuti u držak, ali pri tom treba da ostane slobodna dovoljno velika prednja površina. Tim alatima možemo postići tako tačne i čisto obrađene površine da nije potrebna nikakva naknadna obrada. Kako su dopuštene vrlo visoke temperature alata (1 200 do 1 500°C), možemo raditi s velikim brzinama rezanja. Osim toga, vijek trajanja dijamantnih alata vrlo je dug (100...200 sati) pa je obrada rentabilna.

211.03 BLANJANJE

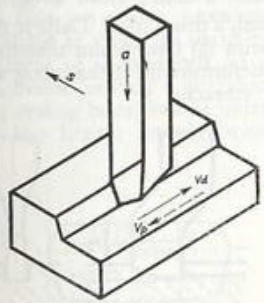
Pod blanjanjem razumijevamo nekoliko vrlo sličnih postupaka obrade, kod kojih je glavno kretanje pravocrtno. Ti se postupci primjenjuju za obradu ravnih površina. Ponekad one mogu biti i savijene, ali u načelu moraju biti s jednakim poprečnim presjecima. Proces rezanja sličan je tokarenju, čak upotrebljavamo jednake ili slične alate; razlika je u glavnom kretanju, koje je pri tokarenju kontinuirano, a kod tih procesa obrade je periodično, tj. s radnim i povratnim hodom.

Za vrijeme radnog hoda skidamo strugotinu, dok se za vrijeme povratnog hoda predmet odnosno alat vraća u početni položaj. Povratni hod samo u izuzetnim slučajevima možemo iskoristiti za rad pa ga, prema tome, moramo smatrati kao gubitak vremena.

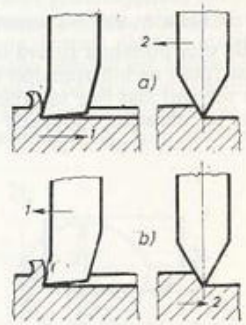
211.031 OPIS RADA I PODJELA POSTUPAKA

Zavisno od toga da li alat ili radni predmet obavlja glavno kretanje, razlikujemo obradu na dugohodnoj i obradu na kratkohodnoj blanjalici.

Pri obradi na dugohodnoj blanjalici radno kretanje obavlja obrađivani predmet s pravocrtnim kretanjem, koje je sastavljeno od radnih i povratnih hodova (radnih brzina v_d i povratnih brzina v_p). Posmično kretanje izvodi alat u smjeru s, a isto tako i dostavno kretanje u smjeru a ①.



① Blanjanje

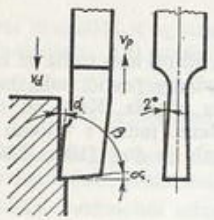


② Osnovna kretanja: a — dugohodno blanjanje, b — kratkohodno blanjanje

Blanjanje primjenjujemo samo za obradu dugačkih predmeta, približno od dužine 1 m naviše. Kraći predmeti mogu se blanjati ekonomično jedino ako stežemo više takvih predmeta na stroj i sve obrađujemo istodobno.

Obrada na kratkohodnoj blanjalici. Alat izvodi glavno kretanje (1), a posmično kretanje (2) u horizontalnom ili vertikalnom pravcu izvodi predmet ②. Osim toga može se

obavljati posmično kretanje u vertikalnom ili kosom smjeru alatom. Ovaj ujedno obavlja dostavno kretanje. Kratkohodno blanjanje dolazi u obzir za obradu kratkih predmeta, najviše do 1 m dužine.

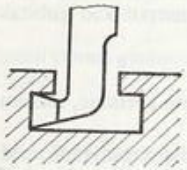


③ Dubljenje

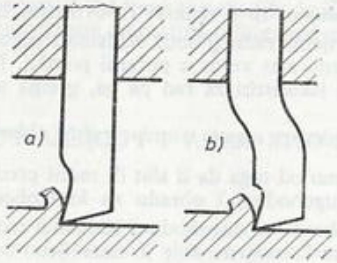
Dubljenje (vertikalno struganje). To je postupak sličan horizontalnom blanjanju. Alat obavlja glavno kretanje, i to u vertikalnom i horizontalnom smjeru. Sva ostala kretanja posmično i dostavno obavlja samo predmet, i to u horizontalnim smjerovima ③. Razlika je između blanjanja i dubljenja u obliku alata, koji pri dubljenju obavlja glavno kretanje u smjeru svog drška. Brzina radnog hoda v_d obično je manja od brzine povratnog hoda v_p. Posmik je najčešće pravocrtni, a kod novijih strojeva može biti još i kružni. Kod takvih strojeva možemo obradivati osim ravnih još i valjkaste površine.

211.032 ALATI PRI BLANJANJU I DUBLJENJU

Kako je postupak obrade blanjanja praktično jednak postupku tokarenja, pri blanjanju najviše upotrebljavamo već poznate alate za tokarenje. Prikazani su pri opisu alata za tokarenje na 211.02 — ④ i ⑤.



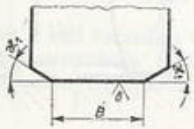
④ Alat za utore



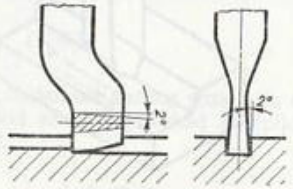
⑤ Alat za horizontalno blanjanje

Osim tih alata moramo spomenuti i alat za blanjanje u obliku slova T ④.

Za svaki utor potrebna su dva takva alata, jedan desni, a drugi lijevi. Dalje je na ⑤ prikazan alat (nož) za horizontalno blanjanje i to s pravim ⑤ i savijenim tijelom ⑤b. Dvostruko savijeni alat ima tu dobru stranu da se pri deformiranju drška, zbog sile rezanja, odmiče od obrađene površine pa time prigušuje vibracije.



⑥ Oštrica noža



⑦ Nož za usijecanje žlijeba

Završnu (finu) obradu pri blanjanju izvodimo širokim alatima. Držak im je po pravilu dvostruko savijen, a režući dio izrađen je prema ⑥ i za nj je karakteristična ravna oštrica $B > s$. Ta oštrica mora bar s one strane na koju ide alat pri posmiku prelaziti u sporednu oštricu, s jako malim kutom namještanja $\varkappa = 5°$ ili pak sa zaobljenom oštricom.

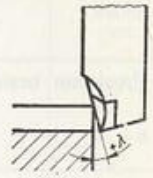
Na ⑦ predočen nam je savijeni nož za usijecanje žljebova.

Kutovi rezanja kod alata za blanjanje prilično su slični kutovima alata za tokarenje, s nešto većim kutovima prednje površine. Osim toga, važno je da upotrebljavamo uvijek pozitivni kut nadvišenja λ kako bi na početku rezanja u dodir s obradivanim predmetom najprije došao dio oštrice, a tek onda sam vrh alata, kako se to vidi na ⑧.

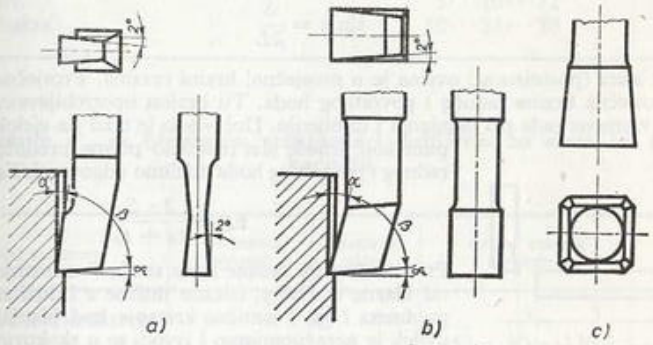
Alati za dubljenje imaju drukčije karakteristične oblike nego alati za blanjanje:

⑨a alat za grubo dubljenje, ⑨b alat za završno dubljenje i ⑨c specijalni alat za dubljenje pravokutnih otvora.

Za razliku od alata za blanjanje alati za dubljenje imaju svoju prednju površinu okrenutu prema dolje, dok im je slobodna površina bočno postavljena.



⑧ Nož za blanjanje

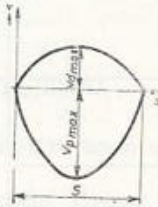


⑨ Alati za dubljenje

211.033 BRZINE REZANJA PRI BLANJANJU

Brzina rezanja pri blanjanju mnogo je manja od brzina koje primjenjujemo pri tokarenju Razlog je tome što se zbog periodičkog glavnog kretanja javljaju ubrzanja, odnosno usporenja koja pri većim promjenama brzine izazivaju potrese alatnog stroja. Osim toga pojavljuju se udari pri ulazu noža u materijal. Brzine rezanja pri blanjanju i dubljenju uzimaju se u zavisnosti od pogona alatnog stroja. Kod strojeva s hidrauličkim pogonom brzine radnog i povratnog hoda približno su konstantne, osim na početku i na kraju svakog hoda, kad se mijenja smjer kretanja radnog stola. Kod takvih strojeva uzimamo kao brzinu rezanja brzinu radnog hoda.

⑩ Dijagram brzina pri hidrauličnom pogonu



⑪ Dijagram brzina pri mehaničkom pogonu

Kod kratkohodne blanjalice i dubilice s mehaničkim pogonom tj. s kulisom, brzine radnog i povratnog hoda više nisu konstantne, nego se mijenjaju za čitavo vrijeme puta S. Dijagram brzina stroja za mehanički pogon s kulisom prikazan je na ⑩.

Iz ⑪ se vidi da najveću brzinu postižemo približno u sredini hoda. Za rezanje su interesantne samo brzine radnog hoda v_d jer alat za vrijeme povratnog hoda ne radi.
Maksimalnu brzinu radnog hoda $v_{d\,max}$ možemo izračunati iz jednadžbe:

$$v_{d\,max} = \frac{2r \cdot \pi \cdot n\,L}{1\,000\,(h_1 + r)}\ (\text{m/min})$$

Prosječnu brzinu radnog hoda možemo izračunati iz jednadžbe:

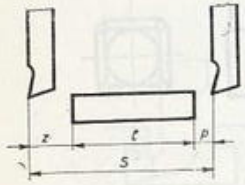
$$v_d = \frac{360 \cdot S \cdot n}{180 + 2\alpha}\ (\text{m/min})$$

α = kut kulise u krajnjim položajima, koji se može izračunati iz jednadžbe:

$$\sin\alpha = \frac{S}{2L}$$

Trajnost alata (postojanost) ovisna je o prosječnoj brzini rezanja. Prosječna brzina rada v_m je prosječna brzina radnog i povratnog hoda. Tu brzinu upotrebljavamo pri izračunavanju vremena rada pri blanjanju i dubljenju. Dobivamo je tako da cjelokupnu brzinu puta koji prijeđe alat relativno prema predmetu za vrijeme radnog i povratnog hoda dijelimo odgovarajućim vremenom:

$$v_m = \frac{2 \cdot S}{t_d + t_p}$$



⑫ Dužina hoda pri blanjanju

Pri određivanju dužine hoda stroja S uzimamo da se sastoji od ulazne dužine p, izlazne dužine z i dužine obrađivanog predmeta l ⑫. Posmično kretanje kod blanjalica i dubilica uvijek je neravnomjerno i izvodi se u skokovima po pravilu samo onda kad alat ne radi. Podatke za brzine rezanja dajemo u tablicama 1, 2. i 3.

Brzine rezanja V_{60} pri blanjanju i struganju za alate od brzoreznog čelika

Tablica 1.

Materijal predmeta	Čvrstoća kp/mm²	Brzine rezanja m/min		Posmik mm
		gruba obrada	fina obrada	
Nelegirani konstruktivni čelici	40 40···50 50···60 60···70 70···80	18···25 15···20 12···16 10···14 10···14	20···30 18···24 14···20 12···18 10···16	0,6···12 0,6···10 0,5···8 0,5···8 0,5···6
Legirani čelici Alatni čelik	80	6···12 8···10	8···14 10···12	0,3···5 0,2···3
Čelični liv Sivi liv		8···16 8···16	10···25 10···25	0,2···12 0,2···12
Legure bakra Laki metali		12···25 18···35	18···40 25···60	0,2···12 0,2···12

Brzine rezanja V_{60} pri dubljenju za alate od brzoreznog čelika

Tablica 2.

Materijal predmeta	Čvrstoća kp/mm²	Brzine rezanja m/min	Posmik mm
Nelegirani konstruktivni čelici	40 40···60 60···80	8···14···22 6···12···16 5···10···12	3···4 2···4 1···4
Sivi liv Čelični liv Legure bakra		6···12···14 5···10···12 12···24···30	3···4 2···4 3···4

Brzine rezanja V_{60} za blanjanje, struganje i dubljenje za alate od sintrovanih karbida

Tablica 3.

Materijal predmeta	Čvrrstoća kp/mm²	Materijal alata	Brzine rezanja m/min	Posmik mm
Nelegirani konstruktivni čelici	60 60···70 70···80	S 3 S 3 S 3	50···80···120 40···60···90 25···40···75	0,1···2 0,1···2 0,1···2
Legirani čelici	80	S 1	15···30···60	0,1···2
Sivi liv Legure bakra Laki metali		G 1 G 1 G 1	25···40···60 30···50···80 50···80···120	0,1···4 0,1···4 0,1···5
Umjetne mase papir, tekstolit		G 1 G 1	10···20···40 25···40···60	0,2···0,8 0,2···1

211.034 SILE REZANJA PRI BLANJANJU I DUBLJENJU

Silu rezanja pri blanjanju i dubljenju možemo rastaviti u tri komponente. To su:

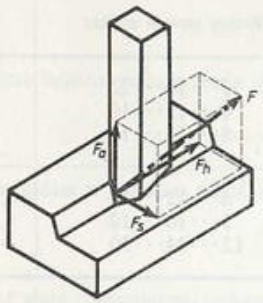
1. glavna sila rezanja F_h nalazi se u smjeru brzine rezanja (glavnog kretanja)
2. posmična sila F_s u smjeru posmika i
3. natražna sila F_a okomita na prethodne dvije komponente.

Odgovarajući raspored sila pri blanjanju vidi se na ⑬, a pri dubljenju na ⑭.

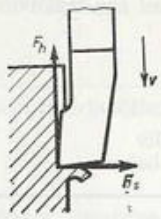
Tu bi trebalo napomenuti da pri najviše upotrebljavanom načinu dubljenja, tj. pri dubljenju utora, nemamo natražne sile nego samo glavnu i posmičnu silu.

Glavnu silu rezanja kod tih postupaka izračunavamo pomoću specifične sile, i to:

$$F_h = A \cdot f_s \qquad \text{(kp)}$$



⑬ Sile pri blanjanju



⑭ Sile pri dubljenju

Vrijednosti za specifičnu silu f_s nalazimo u raznim tablicama, koje su sastavljene potpuno jednako kao i one za tokarenje. U novije vrijeme preporučuje se isti način izračunavanja specifične sile kao pri tokarenju (npr. prema Kienzleu $f_s = f_{s\,1x1} \cdot h^{-x}$). Vidi 211.02—⑦.

Dobiveni rezultati po toj i sličnim jednadžbama koje vrijede za tokarenje treba da se pri blanjanju povećaju za približno 18%, jer je kod tih postupaka brzina rezanja nešto manja.

Prema tome imamo:

$$f_s \text{ blanjanja} = 1{,}18 \cdot f_s \text{ tokarenja}$$

211.035 SNAGA PRI BLANJANJU I DUBLJENJU

Snagu pri kratkohodnom blanjanju i dubljenju možemo izračunati po već poznatoj jednadžbi:

$$P_N = \frac{F_h \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot 1{,}36} = \frac{F_h \cdot v}{6\,120} \qquad \text{(KW)}$$

Pogonska snaga dobije se iz formule:

$$P_B = \frac{P_N}{\eta} \qquad \text{(KW)}$$

U tim jednadžbama kao brzinu stavljamo prosječnu brzinu radnog hoda jer imamo djelomičnu akumulaciju energije u glavnom pogonskom zupčaniku, koji djeluje kao zamašnjak. Osim toga preopterećenja su vrlo kratka pa ih pogonski motor može lako i bez štete svladati.

Pri blanjanju moramo imati na umu i težinu predmeta koji se obraduje jer on jako utječe na iskoristivost η. Velika težina obradivanog predmeta i radnog stola blanjalice uzrokuju veliko trenje u vodicama, a ono smanjuje η stroja. Zbog toga u formuli odvajamo gubitke u vodicama radnog stola te tako dobivamo konačnu jednadžbu za snagu pri blanjanju:

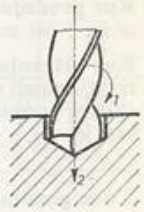
$$P_B = \frac{[F_h + \mu\,(G_M + G_o)] \cdot v_d}{6 \cdot 120 \cdot \eta} \qquad \text{(KW)}$$

Dimenzioniranje pogonskog motora moramo računati prema snazi koju trošimo za vrijeme radnog hoda. Pri povratnom hodu imamo veću brzinu, ali je sila $F_h = 0$.

211.04 BUŠENJE

Bušenje je postupak obrade skidanja strugotine pri kojem glavno kretanje (1) obavlja alat. On isto tako obavlja i posmično kretanje (2) svojim prodiranjem u materijal ①.

Osim klasičnog načina bušenja, koje se obavlja bušilicama, tu radnju možemo izvoditi još i specijalnim alatnim strojevima kod kojih alat izvodi samo aksijalno posmično kretanje, dok materijal izvodi glavno kretanje, i to kružno, npr. kod tokarilica. Bušenje je postupak obrade skidanja strugotine kontinuiranim presjekom strugotine. Razlika je od prethodnih postupaka obrade tokarenja i blanjanja u kombiniranom kružnom i pravocrtnom kretanju, koje istodobno u većini slučajeva izvodi alat.



① Osnovno kretanje pri bušenju

Alate pri tom postupku obrade nazivamo svrdlima. Danas se najviše upotrebljavaju spiralna svrdla. Kod tih alata istodobno su u zahvatu dvije glavne oštrice, koje rade slično kao tokarski noževi, a uz njih se na svrdlima nalazi i sporedna povučena oštrica. Ona stvara specifične uvjete rada. O tome ćemo više govoriti kad budemo opisivali sile pri bušenju.

Operacijama bušenja svrha je izrada i obrada rupa: uvrta i provrta. Isto tako se na bušilicama mogu izradivati navoji upotrebom navojnih svrdla. O tome će biti posebno govora u dijelu o izradi navoja.

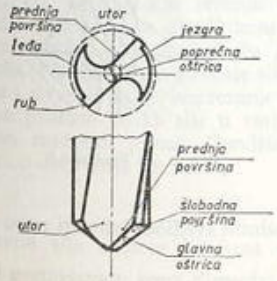
U zavisnosti od zahtijevane tačnosti i kvalitete obrađene površine razlikuju se i operacije i alati za prethodnu i završnu obradu.

Upuštanje je postupak sličan bušenju, a služi da se dalje obrađuju već postojeći provrti. Ove dobivamo prethodnim bušenjem ili je to već postojeći provrt na nekom lijevanom komadu. Upuštanje se upotrebljava za točniju obradu provrta, zatim za izradu upuštenih površina za upuštene vijke te za izradu konusnih rupa.

Razvrtavanje je postupak obrade skidanja strugotine, a vrlo je sličan upuštanju. Razlika je u tome što se tu skidaju još samo mnogo manji presjeci strugotine. Kvaliteta površine i točnost obrade provrta mogu biti pri tom postupku mnogo veće nego pri bušenju i upuštanju. Tragovi obrade jedva se mogu primijetiti. Glavna je prednost tog postupka što se jednim alatom može izraditi veći broj provrta s jednakim tolerancijama.

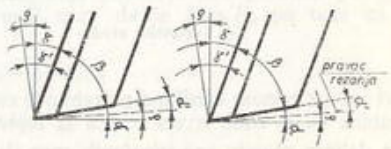
211.041 ALATI PRI BUŠENJU

Najviše upotrebljavani oblik alata za bušenje je spiralno svrdlo. Njegov oblik i dimenzije propisani su jugoslavenskim standardom (JUS K. D3.001 i dalje). Osnovne su mu karakteristike spiralno uvijeni žljebovi (dva žlijeba) za odvođenje strugotine i za odvod tekućine za hladenje. Režući dio samog spiralnog svrdla s nazivom pojedinih dijelova vidi se na ②.



② Spiralno svrdlo

Rad svrdla možemo donekle usporediti s radom alata za tokarenje. Ako razvijemo vanjski plašt svrdla u ravninu crtanja, dobivamo ③.



③ Dva dijela vanjskog plašta svrdla

Iz ③ se vidi da je svrdlo sastavljeno od dva jednaka dijela vrlo slična tokarskim noževima.

Slobodan kut α je kut koji zatvara donja, slobodna površina s površinom okomitom na os svrdla.

Kut prednje površine γ je kut između prednje površine, koju čini jedan dio površine utora i osi svrdla.

Kut oštrenja β je kut između prednje i slobodne površine. Navedeni kutovi su geometrijski kutovi alata, dok su radni kutovi α' i γ' zavisni od veličine posmika. Kod prilično velikog posmika može nastupiti slučaj da se radni kut smanji na nulu, a to biva u slučaju kad je:

$$\alpha' = \alpha - \rho = 0 \text{ ili } \alpha = \rho$$

To je granica preko koje se posmik ne smije povećavati ako ne želimo upropastiti alat.

Uspon zavojnice utora bira se prema materijalu predmeta. Velik uspon uzima se za broncu, žutu mjed i tvrdi čelik, srednji pri obradi čelika, a mali za obradu aluminija i njegovih legura. S veličinom uspona određuje se kut prednje površine: veliki uspon daje manje, a mali velike kutove. Uspon zavojnice spiralnog utora h dobivamo prema jednadžbi:

$$h = d \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \omega$$

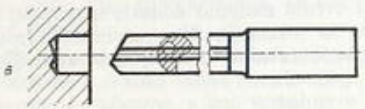
Kut zavojnice ω je kut između osi svrdla i razvijene ivice utora. Taj kut jednak je kutu prednje površine γ.

Kut vrha svrdla φ je kut koji zatvaraju obje glavne oštrice. Kutovi ω i φ različiti su u odnosu prema materijalu koji obrađujemo, a njihove vrijednosti obično su dane u tablicama.

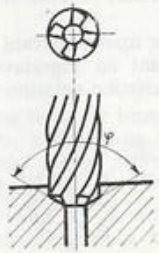
Brušenje spiralnih svrdla obavlja se tako da se istrošeno svrdlo brusi samo na slobodnim površinama. Da bi se uklonilo nepovoljno djelovanje poprečne oštrice, brušenjem se skraćuje njena širina.

Standardni oblici spiralnih svrdla propisani su jugoslavenskim standardima. Oni propisuju i njihove dimenzije. Pregled standardnih spiralnih svrdla nalazi se u JUS K. D3.002. Standardima su obuhvaćena spiralna svrdla s valjčastim i spiralnim drškom. Morze-konus na dršku izvodi se prema JUS K. D0.011, a ušica spiralnog svrdla s valjčastim drškom prema JUS K. D3.006.

Specijalna svrdla upotrebljavaju se u specijalnim slučajevima, kad spiralna svrdla nisu najpovoljnija. Na primjer, pri bušenju dubokih rupa obična spiralna svrdla često bježe u stranu. Za takve slučajeve često se upotrebljavaju topovska svrdla. Primjer takvog svrdla prikazujemo na ④.



④ Topovsko svrdlo



⑤ Proširivač

Pri radu s takvim svrdlima potrebno je najprije normalnim svrdlom izbušiti rupu manje dubine da se time stvori vodica za topovsko svrdlo.

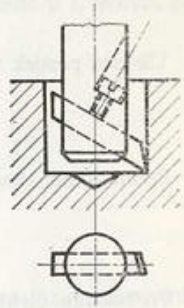
Za daljnju obradu već izbušenih rupa ili prethodno izlivenih rupa upotrebljava se alat koji nazivamo **proširivač (upuštač)**, a vidimo ga na ⑤.

Od spiralnog svrdla razlikuje se po broju utora (3—4), odnosno oštrica, i po zatupljenom vrhu.

Prethodno izliveni otvori proširuju se obično pomoću noža za brušenje, koji je postavljen u držak, gdje se prethodno regulira prema zadanom promjeru rupe, kako je prikazano na ⑥. Predočeni nož odgovara tokarskom nožu za obradu unutrašnjih površina.

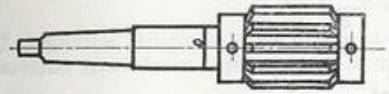
Razvrtači su specijalni alati koji se upotrebljavaju za završnu obradu provrta. Imaju zadatak da osiguraju potrebnu kvalitetu obrađene površine i točno propisanu dimenziju.

Vrlo su slični spiralnim svrdlima. Mogu biti s podešljivim promjerom ⑦, tj. on im se može mijenjati u određenim granicama. Upotrebljavaju se za rad ručno i na strojevima. Razvrtač prema ⑧ ima koničan početak radi lakšeg ulaženja u otvor, a na tom početnom dijelu obavlja se i rezanje. Osim cilindričnih primjenjuju se i konični razvrtači za razvrtavanje koničnih rupa.

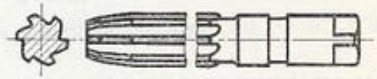


⑥ Nož za bušenje

Materijal za svrdla. Danas se za izradu svrdla upotrebljavaju alatni čelici, brzorezni čelici i sintrovani metali.



⑦ Razvrtač

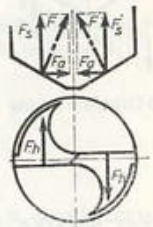


⑧ Razvrtač s podešljivim promjerom

211.042 SILE NA SVRDLU PRI BUŠENJU

Rezultirajuću silu rezanja, koja djeluje na svakoj od glavnih oštrica spiralnog svrdla, možemo rastaviti u tri komponente:

1. u glavnu silu rezanja F_h
2. u posmičnu (aksijalnu) silu F_s
3. u natražnu silu F_a.



⑨ Sile na spiralnom svrdlu

Ako ne uzmemo u obzir sile na maloj poprečnoj oštrici alata, djelujuće sile predočene su na ⑨. Na svakoj oštrici pojavljuje se glavna sila rezanja, koja je okomita na oštricu, a djeluje u horizontalnoj ravnini. Tačka djelovanja tih sila je na promjeru $D/2$. Uz glavnu silu rezanja pod pravim kutom na oštricu svrdla pojavljuje se sila F, koju možemo rastaviti u F_s, u pravcu osi svrdla, i u natražnu silu F_a, čiji je pravac okomit na os svrdla. Natražne komponente sile rezanja međusobno se poništavaju i stvaraju samo naprezanje u materijalu svrdla. Na poprečnoj oštrici svrdla pojavljuje se prilično velika sila u smjeru osi svrdla, koja povećava silu posmika pa, prema tome, možemo prema Condronsu [Kondrons] uzeti da je $F \approx F_h$ pa tada za obje oštrice dobivamo da je:

$$F_s = 2 \cdot F_h \cdot \sin \varphi/2$$

Glavna sila rezanja izračuna se iz formule:

$$F_h = A_1 \cdot f_s \quad \text{(kp)}$$

Pri bušenju su obje oštrice istodobno u zahvatu tako da jedna oštrica prethodi drugoj za 180°. Zato će pri prodiranju svrdla za jedan korak veličine s dubina rezanja za jednu oštricu biti samo $s/2$ jer je prethodna oštrica prodrla već za dubinu $s/2$. Tada je presjek strugotine za jednu oštricu:

$$A_1 = D/2 \cdot \frac{s}{2} = \frac{D \cdot s}{4} \quad (\text{mm}^2)$$

Ukupan presjek za dvije oštrice A je:

$$A = 2\,A_1 = \frac{D \cdot s}{2} \quad (\text{mm}^2)$$

Prema tome, glavna sila rezanja koja djeluje na jednoj oštrici jest:

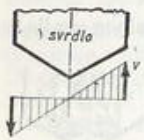
$$F_h = \frac{D \cdot s}{4} \cdot f_s \quad (\text{kp})$$

Pri bušenju djeluju glavne sile rezanja F_h na obje oštrice i stvaraju spreg sila. Budući da sila F_h djeluje približno na udaljenost $D/4$ od osi svrdla, to je veličina obrtnog momenta:

$$M = 2 \cdot F_h \frac{D}{4} = \frac{D^2 \cdot s}{8} \cdot f_s$$

211.043 BRZINA REZANJA PRI BUŠENJU

Pri bušenju je brzina rezanja različita u pojedinim točkama oštrice svrdla. Maksimalna brzina rezanja je na obodu spiralnog svrdla, dok je u osi svrdla brzina jednaka nuli. Dijagram brzina vidi se na ⑩. Kao brzina rezanja uvijek se uzima maksimalna brzina jer ona određuje vijek trajanja svrdla. Brzina rezanja izračunava se po jednadžbi:



⑩ Dijagram brzina

$$v = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1\,000} = (\text{m/min})$$

Prosječna brzina rezanja jednaka je brzini na polumjeru D/4 pa je prema tome:

$$v_m = \frac{v}{2} \quad (\text{m/min})$$

211.044 SNAGA POTREBNA ZA REZANJE PRI BUŠENJU

Snaga koja nam je potrebna da se izvrši bušenje (neto-snaga) izračunava se na temelju jednadžbe, u kojoj mjesto maksimalne brzine stavljamo prosječnu brzinu rezanja v_m pa imamo:

$$P_N = \frac{2 \cdot A_1 \cdot f_s \cdot v_m}{6\,120} = (\text{KW})$$

Ako u tu jednadžbu uvrstimo poznate vrijednosti za presjek strugotine A i za prosječnu brzinu, dobivamo jednadžbu:

$$P_N = \frac{D \cdot s \cdot f_s \cdot v}{24\,480} = (\text{KW})$$

Već je otprije poznato da je zapremnina strugotine u jednoj minuti:

$$V = \frac{D \cdot s \cdot v}{4} = (\text{cm}^3/\text{min})$$

Prema tome, u toj formuli sadržana je i zapremnina strugotine skinuta u 1 minuti, pa neto-snagu onda možemo predočiti još jednadžbom:

$$P_N = \frac{V \cdot F_s}{6\,120} = (\text{KW})$$

Snaga pogonskog motora (bruto-snaga) jednaka je:

$$P_B = \frac{P_N}{\eta} = \frac{V \cdot f_s}{6\,120} \quad (\text{KW})$$

211.045 SPECIFIČNA ZAPREMNINA STRUGOTINE

Zapremnina strugotine koja se skida u jednoj minuti može se izračunati iz presjeka strugotine i prosječne brzine rezanja:

$$V = 2 \cdot A_1 \cdot v_m = \frac{D \cdot s \cdot v}{4} = (\text{cm}^3/\text{min})$$

Zapremninu strugotine koju dobijemo u jednoj minuti neto-snagom od $P_N = 1$ KW zovemo specifičnom zapremninom strugotine.

$$V_{spec.} = \frac{V}{P_N} \quad (\text{cm}^3/\text{min KW})$$

S već poznatim jednadžbama za P_N dobivamo dalje:

$$V_{spec.} = \frac{V}{\frac{V \cdot f_s}{6\,120}} = \frac{6\,120}{f_s} \quad (\text{cm}^3/\text{min KW})$$

Specifična zapremnina ovisna je samo o materijalu, odnosno o specifičnoj sili. Alat s većom specifičnom zapremninom radi bolje jer troši manje snage za isti učin rada.

211.046 POSTOJANOST ALATA PRI BUŠENJU

Pri bušenju može se trošenje svrdla pojaviti u dva oblika:

1. kao potpuno istrošenje (lom oštrice ili svrdla)
2. kao relativno istrošenje — očituje se u smanjenom učinku rada i u poteškoćama pri daljnjem radu.

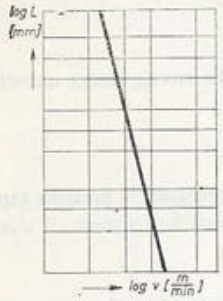
Pri bušenju je prilično teško promatrati istrošenost oštrice svrdla jer je ona sakrivena u materijalu. Najbolje se moment istrošenosti svrdla može ustanoviti mjerenjem sila i momenata. Posmična i natražna sila odjednom porastu tako da dobiju vrijednosti glavne sile rezanja.

Svrdlo se obično troši u tri oblika, pa imamo:

1. istrošenost kraja glavne oštrice jer je na tom mjestu brzina najveća pa, prema tome, nastupa i najveće opterećenje
2. istrošenost ruba svrdla — to je najnepovoljniji oblik trošenja jer je u slučaju velikog istrošenja potrebno svrdlo skratiti za prilično veliku duljinu
3. istrošenje poprečne oštrice, koje nam pokazuje da ne odgovara oblik alata ili pak da postoji greška u materijalu predmeta ili alata.

Kao kriterij postojanosti obično uzimamo porast širine marke trošenja B, tj. trošenja slobodne površine.

Pri tačnijem određivanju brzine rezanja može se zavisnost brzine rezanja od postojanosti alata prikazati ukupnom dubinom bušenja do pojave zatupljenja, a ne vremenskom veličinom, kako je to pri tokarenju. Tako se umjesto brzine v_{60}, koja je mjerodavna pri tokarenju, pojavljuje karakteristična brzina $v_{L\,2000}$, a to je ona brzina rezanja pri kojoj se mogu izbušiti rupe ukupne dubine od 2 000 mm bez ponovnog oštrenja. Na taj način dobivamo zavisnost ukupne dubine bušenja L od brzine rezanja v, pa to prikazujemo u dijagramu $L - v$. Ako sada pojedine točke nanosimo u dvostruki logaritamski dijagram, tu će se ta zavisnost prikazati kao pravac ⑪.



⑪ Dvostruki logaritamski dijagram brzina

Sam trenutak zatupljenja, koji je potrebno poznavati da bi se mogao odrediti $v_{L\,2000}$, utvrđuje se prema trenutku porasta momenta i posmične sile. Osim toga, u trenutku zatupljenja javlja se i karakterističan zvuk od zatupljena svrdla.

Brzina $v_{L\,2000}$ zavisna je od materijala alata i obrađivanog predmeta, kao i od oblika alata i od veličine posmika. Pokusima je ustanovljeno da se $v_{L\,2000}$ smanjuje s povećanjem posmika s i s povećanjem čvrstoće materijala.

Pri dubokom bušenju uvjeti rada znatno se mijenjaju jer je odvođenje strugotine veoma teško.

Prošireni zakon za brzinu rezanja pri bušenju, koji obuhvaća sve činioce potrebne pri obradi, ima oblik:

$$v = \frac{C_v \cdot D^{x_0} \cdot \mu_0}{T^m \cdot s^{y_0}}$$

Osim već spomenutog utjecaja veličine posmika i materijala alata i predmeta, na put trajanja utječe još i promjer svrdla i dubina bušenja.

Kod većih promjera svrdla mogu se primijeniti veće brzine. To se objašnjava time što svrdlo većeg promjera ima i veći utor pa strugotina lakše izlazi iz provrta. S povećanjem dubine bušenja mora pri istoj postojanosti uslijediti smanjenje brzine $v_{L\,2000}$ zbog otežanog odvođenja strugotine, a time i topline. Pokusi su pokazali da pri dubokom bušenju nastaje zagrijavanje materijala predmeta te mu se povećava i tvrdoća.

Vrijednosti za C_v, x_0, y_0, m Tablica 1.

Materijal za obradu	C_v	x_0	y_0	m
Ugljični čelik				
σ = 45 kp/mm²	11,1	0,4	0,5	0,2
= 55 kp/mm²	9,3	0,4	0,5	0,2
= 65 kp/mm²	8,0	0,4	0,5	0,2
= 75 kp/mm²	7,1	0,4	0,5	0,2
Krom-nikal čelik				
σ = 65 kp/mm²	6,3	0,4	0,5	0,2
= 75 kp/mm²	5,6	0,4	0,5	0,2
= 85 kp/mm²	5,0	0,4	0,5	0,2
= 95 kp/mm²	4,5	0,4	0,5	0,2
Lijevano željezo				
HB = 170 kp/mm²	14,4	0,25	0,4	0,125
= 190 kp/mm²	12,2	0,25	0,4	0,125
= 210 kp/mm²	10,5	0,25	0,4	0,125

Podaci u tablici 1. dani su za promjer svrdla D = 10—60 mm. Ti podaci odnose se $\mu_0 = 1$, što odgovara odnosu $L/D = 2{,}5$.

Isto tako se na temelju pokusa i praktičnih radova sastavljaju tablice za izbor brzine rezanja za različite materijale i posmike. U tablici 2. navodimo neke preporuke za izbor brzine rezanja i posmika pri bušenju za rad spiralnim svrdlima.

Brzine rezanja i posmici za rad spiralnim svrdlima

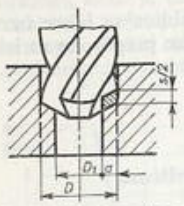
Tablica 2.

Materijal alata	Materijal predmeta	Brzine rezanja m/min	Posmik mm/okret
Alatni čelik	čelik do 50 kp/mm²	10 do 18	0,015 do 0,25
	čelik iznad 50 kp/mm²	9 do 12	0,015 do 0,22
	čista mjed	18 do 30	0,015 do 0,22
Brzorezni čelik	čelik do 50 kp/mm²	25 do 40	0,015 do 0,45
	čelik 50—70 kp/mm²	25 do 32	0,015 do 0,45
	legirani čelik 70—90 kp/mm²	12 do 20	0,008 do 0,30
	legirani čelik iznad 90 kp/mm²	8 do 14	0,007 do 0,27
	sivi liv do 18 kp/mm²	20 do 35	0,025 do 0,56
	čista mjed	do 60	0,02 do 0,45
	laki metali	do 120	0,02 do 0,50
	legure magnezija	do 200	0,025 do 0,80
Alatni čelik	novoteks	8 do 12	
	tekstolit		
Brzorezni čelik	mramor	do 10	
	tekstolit	20 do 30	
Sintrovani metal	čelik do 140 kp/mm²	30	0,05 do 0,08
	čelik 180—200 kp/mm²	10	0,03 do 0,06
	tvrdi liv	7	0,04 do 0,08
	granit	6 do 10	0,02 do 0,05
	porculan	10 do 20	0,01 do 0,05

211.047 PRESJEK STRUGOTINE I OPTEREĆENJE SVRDLA PRI UPUŠTANJU

Sve oštrice upuštača skidaju istu debljinu strugotine i istodobno su u zahvatu. Svaka oštrica prema ⑫ skida presjek strugotine.

$$A_1 = \frac{D - D_1}{2} \cdot \frac{s}{z} = a \cdot \frac{s}{z} = [mm^2]$$



⑫ Presjek strugotine

Cjelokupna strugotina je onda

$$A = A_1 \cdot z \ [mm^2]$$

Presjek strugotine manji je nego kod spiralnog svrdla pa su i sile manje.

Pri radu upuštača nastupa u aksijalnom smjeru sila F_s, a glavna sila na oštricama uzrokuje moment torzije M.

Pri upuštanju može se primijetiti, slično kao i pri bušenju, povećanje aksijalne sile s povećanjem posmika i povećanjem dubine rezanja. Istodobno se može opaziti i povećanje momenta torzije.

Povećanjem promjera alata povećava se moment torzije, ali aksijalna sila ostaje gotovo nepromijenjena.

Za izračunavanje glavne sile rezanja može se upotrijebiti jednadžba:

$$F_h = A \cdot f_s \ [kp]$$

Specifična sila može se odrediti ako se mjerenjem odredi moment torzije M na mjernom stolu:

$$f_s = \frac{F_h}{A} = \frac{2M}{(d_1 + d) \cdot A} \ [kp/mm^2]$$

Preporučene brzine rezanja pri upuštanju mogu se naći u tablici 3, a preporučeni posmici u mm/okr. za spiralni upuštač u tablici 4.

Brzine rezanja za upuštanje u m/min Tablica 3.

Materijal predmeta		Spiralni upuštač		Vratni upuštač	
		Alatni čelik	Brzorezni čelik	Alatni čelik	Brzorezni čelik
Sivi liv	meki	10	18	8	12
	srednji	8	15	7	10
	tvrdi	6	12	6	8
Čelik Čelični liv Kovkasti liv	meki	10	20	8	14
	srednji	8	15	7	12
	tvrdi	5	10	5	8
Bronca Mjed	meka	18	40	15	30
	srednji	16	35	12	25
Aluminij	tvrdi	18	40	15	30

Posmik pri upuštanju u mm/okret za spiralni upuštač Tablica 4.

Materijal predmeta	Materijal alata	Promjer upuštanja u mm			
		10—15	16—25	26—40	41—60
Čelik Čelični liv	alatni čelik	0,1 —0,15	0,15—0,25	0,25—0,35	0,35—0,45
Kovkasti liv	brzorezni čelit	0,15—0,25	0,25—0,35	0,35—0,45	0,45—0,55
Sivi liv Bronca	alatni čelik	0,2	0,25	0,3	0,4
Mjed Aluminij	brzorezni čelik	0,25	0,3	0,4	0,5

211.048 PRESJEK STRUGOTINE I OPTEREĆENJE RAZVRTAČA

Jednadžbe koje se upotrebljavaju pri razvrtavanju za izračunavanje presjeka strugotine iste su kao i pri upuštanju.

Presjek strugotine za jednu oštricu je:

$$A_1 = \frac{D - D_1}{2} \cdot \frac{s}{z} \ [mm^2]$$

Cjelokupna strugotina koju skida razvrtač jest:

$$A = A_1 \cdot z \ [mm^2]$$

Pri tom postupku skidaju se, dakle, manji presjeci strugotine. Debljina strugotine pri razvrtavanju mnogo je manja nego pri upuštanju.

Za završno razvrtavanje uzima se:

$$D_1 = D - (0{,}0 \text{ do } 0{,}15) \ [mm]$$

Broj zubi razvrtača uzima se sa 6, 8, 10, 12, 14, 16 i 18, a podjela nije ravnomjerna da se spriječi nastanak žljebova u obrađenoj površini.

211.05 GLODANJE

Glodanje je postupak obrade skidanja strugotine koji se obavlja sastavljenim alatima, tj. alatima s više jednakih pojedinačnih oštrica. Sve oštrice tog alata nisu istodobno u zahvatu, već samo njihov manji dio. Glodanje je složenija operacija od tokarenja i bušenja, ne samo zbog većeg broja oštrica već i zbog promjenljivog presjeka strugotine za vrijeme dok jedan zub izvodi obradu.

211.051 OPIS RADA I PODJELA POSTUPKA GLODANJA

Kao osnovnu karakteristiku toga procesa možemo navesti da zubi glodala dolaze u dodir s obradivanim predmetom jedan za drugim, a opterećenje svakog zuba za vrijeme rada jako se mijenja od momenta početka rezanja do momenta njegova izlaska iz materijala To je prikazano na ①.

Pri glodanju glavno radno kretanje obavlja uvijek alat (glodalo). Posmično i dostavno kretanje obično izvodi obrađivani predmet. Kod nekih novijih strojeva dostavno kretanje često obavlja alat, koji ponekad izvršava čak i posmično kretanje. Prema načinu sastavljanja radnog i posmičnog kretanja glodanje možemo podijeliti ovako:

① Glodalo u zahvatu

1 — **Obodno glodanje.** Ono može biti:

11 — plošno, protusmjerno ili istosmjerno

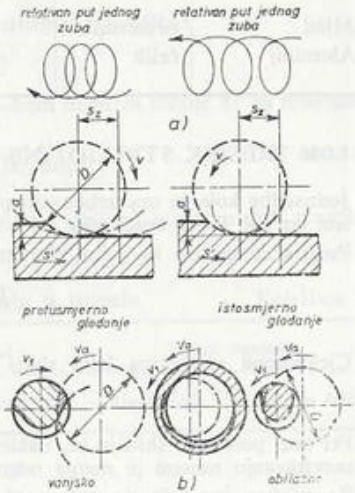
12 — kružno, kružno vanjsko, unutarnje i obilazno.

Obodno plošno glodanje imamo kad skidanje strugotine obavljamo obodom valjčastih i pločastih glodala. Taj postupak dijelimo u protusmjerno i istosmjerno glodanje.

Pri protusmjernom plošnom glodanju glodalo se okreće u takvom smjeru da je njegova obodna brzina suprotna brzini posmika predmeta ②.

Pri istosmjernom plošnom glodanju obodna brzina glodala i brzina posmika imaju isti smjer. Svaka od tih vrsta glodanja ima svoje prednosti i nedostatke.

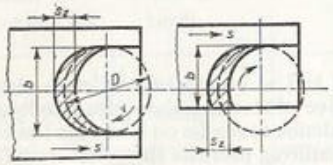
Obodno kružno glodanje u svojim varijantama vanjskog, unutrašnjeg i obilaznog glodanja je noviji oblik te radnje, a ti se postupci zbog posebnih prednosti u stanovitim slučajevima sve više primjenjuju.



② Obodno glodanje: a — plošno, b — kružno

2 — **Čeono glodanje,** simetrično i nesimetrično, za širinu glodala, jednaku ili manju od promjera glodala.

Čeono glodanje primjenjujemo pri izradi raznih utora i žljebova prstastim glodalima ili za površinsku obradu glodaćim glavama. Taj način glodanja spada u posljednje vrijeme u najizdašnije i najsavršenije procese obrade ravnih površina.

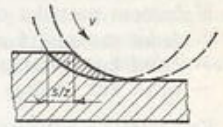


③ Čeono glodanje

Oblik površine različit je pri pojedinim načinima glodanja. Ako želimo nacrtati oblik strugotine, potrebno je da prije toga nacrtamo relativan put zuba jednog glodala. Taj put je krivulja koju možemo naći ako smatramo da glodalo obavlja istodobno kružno kretanje i posmik ②. Oblik strugotine dobivamo kad relativan put nacrtamo za dva susjedna zuba, odnosno ako krivulju za jedan zub pomaknemo za s/z u smjeru posmika (z — broj zubi glodala). Obadvije krivulje ograničavaju presjek strugotine ④.

Iz ④ se vidi da nemamo ravnomjernu debljinu strugotine. Prema tome se za vrijeme zahvata zuba mijenja i sila, pa nam sile i momenti nisu ravnomjerni.

Pri čeonom glodanju debljina se strugotine manje mijenja pa je i ravnomjerniji rad.



④ Oblik strugotine

211.052 ALATI I NJIHOVI KUTOVI PRI GLODANJU

Glodala čine složenu skupinu alata. To su alati s više oštrica raznovrsnih oblika, zatim kružne pile i glave za glodanje.

Osnovni oblici glodala propisani su jugoslavenskim standardima (JUS K. D2.001 i dalje).

Po načinu izrade glodala dijelimo:

1 — na glodala s glodanim zubima

2 — na glodala s natražno tokarenim (ili brušenim) zubima i

3 — na glodala i glave za glodanje s umetnutim zubima.

Po obliku tijela mogu biti:

— valjčasta
— valjčasto čeona
— plosnata (koturasta)
— kružne pile
— vretenasta glodala
— konično vretenasta glodala i
— profilna glodala.

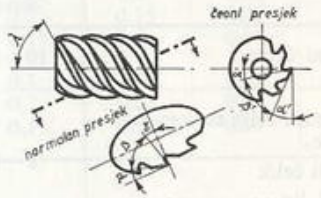
Prema obliku zubi možemo ih podijeliti:

— na glodala s ravnim zubima
— na glodala s križnim zubima i
— na glodala sa spiralnim zubima.

Glodala mogu biti još izrađena za rezanje u desnom ili u lijevom smjeru okretanja.

Kutovi rezanja vide se na ⑤ i ne razlikuju se od kutova koji nam se pojavljuju kod tokarskih noževa.

⑤ Kutovi glodala



⑥ Kutovi na spiralnim zubima

Kod alata sa spiralnim zubima kutove označavamo posebno u normalnom presjeku (okomito na oštricu zuba) i posebno u čeonom presjeku (okomito na os glodala) ⑥.

U normalnom presjeku imamo ove kutove:

— normalan slobodni kut α
— normalan kut oštrenja β
— normalan kut prednje površine γ.

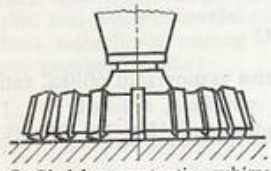
U čeonom presjeku odgovarajući kutovi jesu:

- čeoni slobodni kut α'
- čeoni kut oštrenja β'
- čeoni kut prednje površine γ'.

Kut spirale λ odgovara kutu nadvišenja kod tokarskih alata. Između normalnih i čeonih kutova postoji neki odnos koji je ovisan o kutu spirale, a dobivamo ga iz jednadžbe:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\cos \lambda}$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma' \cdot \cos \lambda$$



⑦ Glodalo s umetnutim zubima

Za obradu velikih ravnih površina upotrebljavaju se glave za glodanje, tj. glodala s umetnutim zubima ⑦. Kod tih alata tijelo je izrađeno od konstruktivnog čelika i u nj su usađeni zubi u obliku noževa. Način pričvršćenja alata može biti različit: vijcima, klinovima, konusnim zatikom itd. Promjer glave za najveće strojeve može biti čak i do 1 m i više.

211.053 BRZINE REZANJA PRI GLODANJU

Brzina rezanja pri glodanju jednaka je obodnoj brzini glodala, a izračunava se po istoj jednadžbi kao i pri svim kružnim kretanjima:

$$v = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1\,000} \quad \text{(m/min)}$$

Približne vrijednosti za brzinu rezanja u zavisnosti od materijala alata i materijala obrađivanog predmeta možemo naći u tablici 1.

Brzine rezanja pri glodanju Tablica 1.

Materijal obrađivanog predmeta	Brzina rezanja glodala u m/min			
	Alati od brzoreznog čelika		Alati od tvrdog metala	
	gruba obrada	završna obrada	gruba obrada	završna obrada
Ugljični čelik	10–15	15–20	50–80	do 130
Nelegirani čelik za cementiranje, Cr–Ni čelik Čelični liv	8–12	12–20	30–50	60–90
Sivi liv Kovkasti liv	8–12	12–20	50–80	80–100
Mjed, bronca Bakar i laki metali	20–25 do 200	30–50 do 700	90–120 do 450	do 300 do 700

Iz tablice 1. možemo razabrati da za grubu obradu imamo manju brzinu rezanja od brzine za završnu (finu) obradu. U vezi s brzinom rezanja mijenja se i brzina posmičnog kretanja. Gruboj obradi s manjom brzinom rezanja odgovara veća brzina posmičnog kretanja. Isto tako završnoj (finoj) obradi s većom brzinom rezanja odgovara manja brzina posmičnog kretanja.

211.054 POSMIK PRI GLODANJU

Posmik glodala u mm na jedan okret moguće je izračunati iz posmika na jedan zub glodala koji nalazimo u tablici 2.

$$s = s_z \cdot z \quad \text{(mm/okr.)}$$

Posmik glodala (s) služi samo za određivanje oblika strugotine. Na strojevima za glodanje posmik nalazimo u tablicama, a dan je kao brzina u mm/min. Brzina posmičnog kretanja u 1 minuti može se izračunati iz jednadžbe:

$$s' = s_z \cdot z \cdot n \quad \text{(mm/min)}$$

Brzina posmika bira se prema željenoj kvaliteti površine pri finom glodanju i prema snazi stroja pri grubom glodanju. Osim toga pri glodanju postoji nekoliko faktora koji uvjetuju određivanje veličine posmika. To je u prvom redu otpornost zuba alata, zatim otpornost alatnog stroja i stabilnost obrađivanog predmeta. Brzina posmičnog kretanja pri gruboj obradi kreće se između 100 i 500 mm/min, a pri finoj obradi između 10 i 50 mm/min.

Posmik za 1 zub glodala iz brzoreznog čelika

Tablica 2.

Materijal predmeta	Tvrdoća HB	Čvrstoća kp/mm²	Glodalo			
			valjkasto	čeono	plošno	profilno
SL 18	170	18	0,2	0,25	0,07	0,02
SL 26	220	23	0,1	0,15	0,05	0,02
Č. 0550	140	50	0,2	0,25	0,07	0,04
Č. 0650	170	60	0,15	0,2	0,06	0,04
Č. 0750	220	75	0,1	0,15	0,06	0,03
Č. 1530	180	65	0,15	0,2	0,07	0,04
Č. 4721	220	75	0,1	0,15	0,06	0,03
Kovkasti liv	150	38	0,2	0,25	0,07	0,04
Aluminij	35	14	0,15	0,2	0,07	0,04

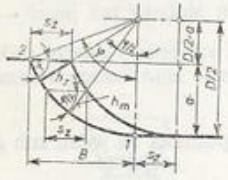
211.055 DEBLJINA STRUGOTINE PRI GLODANJU

Poznato je da pri glodanju nemamo ravnomjernu debljinu strugotine. Pogotovo se to očituje pri valjčastom protusmjernom i istosmjernom glodanju pa možemo reći da je oblik strugotine sličan zarezu.

Uzima se da je presjek strugotine ograničen sa dva kružna luka, no to nije sasvim tačno jer su to u stvari specijalne krivulje.

Ako debljinu strugotine na mjestu gdje je ta strugotina najdeblja označimo sa h_z (mm), možemo je izračunati ovako ⑧:

$$h_z = s_z \cdot \sin\varphi.$$



⑧ Debljina strugotine

$$\sin\varphi = \frac{B}{\frac{D}{2}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{D^2}{2}\right) - \left(\frac{D}{2} - a\right)^2}}{\frac{D}{2}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{a}{D}\left(1 - \frac{a}{D}\right)}$$

Prema tome, maksimalna debljina strugotine jest

$$h_z = 2 \cdot s_z \cdot \sqrt{\frac{a}{D}\left(1 - \frac{a}{D}\right)} \quad \text{(mm)}$$

Pri glodanju se često računa s prosječnom debljinom strugotine h_m, koja nastupa kod kuta $\varphi/2$.

$$h_m = \frac{s'}{z \cdot n} \cdot \sqrt{\frac{a}{D}}$$

211.056 POSTOJANOST ALATA PRI GLODANJU

Postojanost glodala jest vrijeme što ga glodalo provede u radu između dva oštrenja tog alata. Vijek trajanja, odnosno postojanost alata možemo izračunati iz jednadžbe:

$$T = \frac{1 - m}{m} \cdot t_0$$

gdje je t_0 ukupan vremenski gubitak izazvan jednim zatupljenjem alata. Taj vremenski gubitak može se raščlaniti na ove elemente:

$$t_0 = \frac{t_1 \cdot m_1 + t_2 \cdot m_2 + \frac{K}{i+1}}{m_1}$$

Zbog složenijeg oblika alata za glodanje, a time i težeg oštrenja, za postojanost se uzimaju veće vrijednosti nego pri tokarenju. Te vrijednosti kreću se između $T = 120$ do 600 minuta, a manje vrijednosti za manja glodala sa sitnijim zubima.

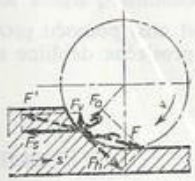
211.057 SILE REZANJA PRI GLODANJU

Budući da pri glodanju u procesu rezanja istodobno sudjeluje više zubi jednog glodala, ni sile rezanja ne određujemo promatranjem rezanja jednog usamljenog zuba, već pri istodobnom rezanju više zubi.

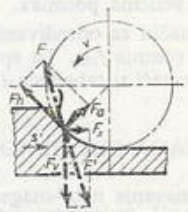
Pri glodanju svaki pojedini zub u nekom određenom momentu skida strugotinu druge debljine pa se osim toga debljina strugotine mijenja s položajem zuba prema predmetu. Prema tome, sile na pojedinim zubima mijenjaju se po smjeru i po veličini, a uz to su one i različite u pojedinim momentima. Pri glodanju pojavljuje se neravnomjernost rada, koja je, s jedne strane, posljedica smjenjivanja pojedinih faza pri odvajanju strugotine, a s druge strane prouzročena je periodičkim ulaskom zuba u materijal, odnosno njegovim izlaskom.

Sile pri protusmjernom glodanju. Na jednom zubu glodala pojavljuje se sila F, koju možemo rastaviti u natražnu silu F_a u smjeru osi glodala (normalnu silu) i u glavnu silu rezanja F_h u smjeru brzine rezanja (tangencionalnu komponentu). Taj isti zub djeluje na obrađivani predmet silom F', koja je po veličini i po smjeru jednaka sili F, ali je suprotnog smjera djelovanja.

Tu silu možemo rastaviti u dvije komponente: jednu u smjeru brzine posmika F_s (silu posmika) i drugu okomitu na površinu obrađivanog predmeta F_v ⑨. Na slici se vidi da se sila F_s suprotstavlja posmiku i opterećuje mehanizam za posmik, dok druga komponentna sila F_v mijenja svoj smjer zavisno od položaja zuba glodala, promjera glodala i dubine glodanja. U pojedinim momentima ona može imati svoj smjer djelovanja prema gore pa je njeno djelovanje opasno ako predmet nije jako pričvršćen jer ga nastoji podići s radnog stola.



⑨ Sile pri protusmjernom glodanju



⑩ Sile pri istosmjernom glodanju

Sile pri istosmjernom glodanju ⑩. Sila na jedan zub glodala F rastavlja se u dvije komponente: u natražnu komponentu F_a, čiji je pravac ostao isti kao i pri protusmjernom glodanju, ali je smjer glavne sile rezanja F_h suprotan. Sila F', kojom zub glodala djeluje na predmet, opet se može rastaviti u dvije komponente, F_v i F_s. Komponenta u smjeru posmika F_s vuče predmet, a s njime i radni stol u istom smjeru, kao i mehanizam za posmik. Ako je ta sila veća od trenja u vodicama, doći će do spomenutih pojava neravnomjernosti u posmiku i, na kraju, u ekstremnim slučajevima, do loma glodala. Druga komponenta uvijek je okrenuta prema dolje i to je dobra strana.

Na isti način postupamo kad sastavimo sile na pojedinim zubima u rezultantu, koju opet možemo podijeliti u komponentne sile na opisani način, samo sada imamo drukčije veličine pojedinih sila.

Podaci za izračunavanje pojedinih sila pri glodanju mogu se dobiti samo mjerenjem u različitim uvjetima rada. Pri tome se pomoću mjernog stola može mjeriti samo horizontalna sila F_s i vertikalna komponenta F_v. Iz tih komponenti moguće je izračunati sile F i F':

$$F' = F = \sqrt{F_v^2 + F_s^2} = \sqrt{F_h^2 + F_s^2}$$

Iz navedene jednadžbe se tangencijalna komponenta sile (F_h) i natražna komponenta sile (F_a) još ne mogu izračunati jer nije poznata tačka djelovanja tih sila. Za potpuno izračunavanje potrebno je izmjeriti još moment torzije M, i to na što više načina. Iz poznatog momenta torzije M može se sada izračunati sila F_h:

$$F_h = \frac{2M}{D} \quad \text{(kp)}$$

Zatim, poznavajući silu F_h možemo izračunati i natražnu komponentu

$$F_a = \sqrt{F^2 - F_h^2}$$

Sile kod glodala sa spiralnim zubima kod kojih sile nisu u jednoj ravnini nego u prostoru. Kod spiralnih zubi javlja se još jedna dodatna sila u smjeru osi glodala F_0. Rezultantna sila koja djeluje na glodalo prema tome je:

$$F' = \sqrt{F_h^2 + F_a^2 + F_0^2}$$

Silu F_0 možemo mjeriti ili u najjednostavnijim slučajevima izračunati iz jednadžbe:

$$F_0 = F_h \cdot \operatorname{tg} \omega$$

Kod glodala se sile rezanja povećavaju ako uzimamo glodala s većim brojem zubi. Najviše se povećava sila posmika F_s, a zatim natražna sila F_a, dok je aksijalna sila F_0 gotovo nezavisna od broja zubi. Utjecajni faktori na sile rezanja pri glodanju osim promjera glodala jesu: broj zubi, kutovi rezanja, kut zavojnice spiralnih glodala, brzine rezanja, dubina rezanja i veličina posmika.

Najbolji način za određivanje glavne sile rezanja F_h jest onaj pomoću prosječne specifične sile rezanja f_{sm}. Ta specifična sila zavisna je od prosječne debljine strugotine h_m i može se naći u tabelama i dijagramima.

211.058 SNAGA PRI GLODANJU

Za izračunavanje neto-snage pri glodanju mogli bismo upotrijebiti onu istu jednadžbu kao i kod ostalih procesa obrade:

$$P_N = \frac{F_h \cdot v}{6\,120} \quad \text{(KW)}$$

Ta jednadžba za praksu nije povoljna jer bismo morali glavnu silu F_h računati pomoću prosječne specifične sile f_{sm} i prosječne debljine strugotine h_m budući da se presjek strugotine od momenta do momenta mijenja, a to su nam ujedno i veličine koje je teško mjeriti. Zbog toga tu jednadžbu moramo pretvoriti u povoljniji oblik s poznatim veličinama, kao što su dubina rezanja pa i posmik s', koji prikazuje brzinu posmika u mm/min.

Rad koji obavlja jedan zub glodala za vrijeme od jednog okretaja na putu od 1 do 2 ⑧ jednak je:

$$W = a \cdot b \cdot f_{sm} \cdot \frac{s' \cdot D}{z \cdot v} 10^{-6}$$

Prema tome, snagu rezanja možemo dobiti iz te jednadžbe ako uzmemo u obzir još broj zubi i broj okreta pa imamo:

$$P_N = \frac{W \cdot z \cdot n}{6\,120} = \text{(KW)}$$

Ako u tu jednadžbu sada uvrstimo rad za jedan zub i sredimo je, dobivamo izraz:

$$P_N = \frac{a \cdot b \cdot s' \cdot f_{sm}}{6{,}12 \cdot 10^{-6}} \quad \text{(KW)}$$

Pogonska snaga elektro-motora mora biti veća, i to;

$$P_B = \frac{P_N}{\eta} \quad \text{(KW)}$$

Izdvojimo li u toj jednadžbi zapremninu strugotine koja se skida u jednoj minuti, dobivamo:

$$V = \frac{a \cdot b \cdot s'}{1\,000} \quad \text{(cm}^3\text{/min)}$$

Prema tome, pogonska snaga je:

$$P_B = \frac{V \cdot f_{sm}}{6\,120 \cdot \eta} \quad \text{(KW)}$$

Isto tako poznato nam je da je specifičan volumen skinute strugotine onaj volumen skinute strugotine koji dobivamo u jednoj minuti neto-snagom $P_N = 1$ KW, a jednak je:

$$V_{spec} = \frac{6\,120}{f_{sm}} \quad \text{(cm}^3\text{/min KW)}$$

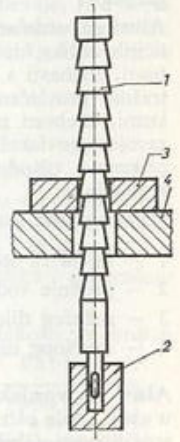
Ako sada u toj jednadžbi izdvojimo i specifičnu zapremninu skinute strugotine, jednadžba za pogonsku snagu pojednostavnjuje se i ima oblik:

$$P_B = \frac{V}{V_{spec}} \quad \text{(KW)}$$

211.06 GREBANJE

Grebanje je jedan od novijih postupaka za obradu skidanja strugotine. To je postupak za obradu fazonskih površina. Kao alat služi grebalo, tj. alat s više zubi, no oni nisu jednaki, nego je svaki slijedeći zub za debljinu strugotine jači od prethodnog.

Radno kretanje pri grebanju u načelu je uvijek pravocrtno i alat se kreće u smjeru svoje osi. U izuzetnim slučajevima to kretanje može biti i u obliku zavojnice (sastavljeno od pravocrtnog i kružnog kretanja) ili čak kružno. Kretanje u obliku zavojnice upotrebljava se za izradu spiralnih utora (npr. kod topovskih cijevi), kružno za velikoserijsku proizvodnju zupčanika (postupak pri izradi stožnih zupčanika). Pri kružnom glavnom kretanju alat je sličan glodalu, s velikim brojem zubi, ali svaki zub ima drugi profil.



① Princip obrade grebanjem

Pri grebanju nema posmika, osim ako kao posmik smatramo okretanje predmeta pri izradi spiralnih utora. To okretanje ipak nije posmik kao kod ostalih načina obrade, nego sastavni dio radnog kretanja. Gotovo kod svih strojeva za grebanje radno kretanje obavlja alat, koji nazivamo iglom za grebanje. Princip rada pri grebanju prikazan je na ①.

Alat (igla za grebanje, označena sa 1) pričvršćen je svojim donjim krajem za vučni element 2 kojim se alat vuče naniže.

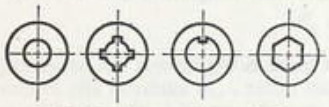
Obrađivani predmet 3 postavljen je na radni stol 4 i kroz prethodno izbušeni provrt na radnom predmetu provuče se alat svojim donjim dijelom (vodicom), čiji promjer odgovara otvoru na obrađivanom predmetu. Zubi alata, idući od donjeg dijela prema gornjem, postepeno se povećavaju tako da presjek alata na gornjem dijelu odgovara gotovu profilu obrađenog predmeta.

Strojevi na kojima se obavlja grebanje vrlo su jednostavni, ali su zato alati vrlo skupi. Taj postupak se upotrebljava isključivo za velikoserijsku proizvodnju ili za neke standardizirane oblike provrta koji se u proizvodnji često ponavljaju.

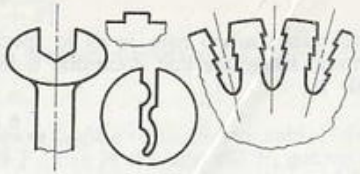
Velika točnost obrade i jako kratko vrijeme pripreme stroja dobre su strane tog postupka.

Obrađivati možemo sve materijale, čak i termički obrađene čvrstoćom do 130 kp/mm².

Zavisno od toga da li se obrađuju unutrašnje ili vanjske površine, razlikujemo unutrašnje ili vanjsko grebanje. Neke primjere unutrašnjeg grebanja dajemo na ②, a primjere vanjskog grebanja na ③.



② Primjeri unutranjeg grebanja



③ Primjeri vanjskog grebanja

211.061 ALATI ZA GREBANJE

Alati za grebanje upotrebljavaju se za obradu otvora, žljebova i vanjskih površina različitih oblika.

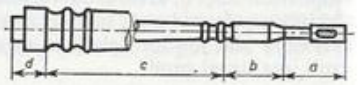
Prema načinu rada možemo ih podijeliti na tjerane i na vučene alate.

Tjerani alati (nazivaju se još i probijači) jesu alati koji su opterećeni još i na sabijanje pa sile djeluju na njihov zadnji dio. Oni mogu biti manje dužine, a služe za skidanje manjih količina strugotine te se, prema tome, najviše upotrebljavaju kao alati za kalibriranje.

Vučeni alati (nazivaju se i provlakači) opterećeni su još na istezanje pa sila kod njih djeluje na prednji dio alata. Oni mogu imati veće dužine te mogu služiti za skidanje većih količina strugotine.

Osim te podjele, alate za grebanje možemo podijeliti još na one za unutarnje i za vanjsko grebanje.

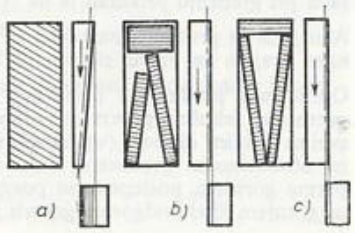
Alati za unutarnje grebanje mogu biti različitih oblika, npr. cilindrični, kvadratni, žljebasti, žljebasti s trouglastim profilom za unutrašnje provlačenje, zatim mogu biti pravokutni, žljebasti za izradu utora za klinove te zavojni provlakači za unutrašnje grebanje. ④ prikazuje cilindrično grebalo za unutrašnje grebanje.



④ Alat za grebanje

Prikazani alat spada u vučene alate za grebanje, a sastoji se od ovih dijelova:

1 — dijela za stezanje (a)
2 — prednje vodice alata (b)
3 — režućeg dijela alata (c)
4 — završnog dijela (d).



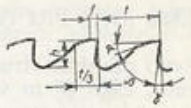
⑤ Alati za vanjsko grebanje

Alati za vanjsko grebanje također spadaju u alate s više oštrica, a nemaju nekih osobitih specifičnosti. Obično su izrađeni u obliku zupčastih letvi, koje su najčešće pričvršćene na saonice stroja za grebanje. Alati za grebanje mogu pri radu izvršiti primicanje po dubini, dok alati prikazani na ⑤ pod b i c imaju pri vertikalnom kretanju grebala bočno primicanje, koje se ostvaruje pomoću posebnih reznih elemenata koso postavljenih na tijelo alata.

Alati za vanjsko grebanje često se upotrebljavaju za sasvim jednostavnu obradu ravnih površina mjesto struganja i glodanja.

Rezni dio alata obično se dijeli u tri zone:

1 — u zonu grubog rada
2 — u zonu polufinog rada i
3 — u zonu završnog rada ili kalibriranja.



⑥ Oblik zubi grebala

Oblik zubi vidi se iz ⑥. Ondje se ujedno vide i svi kutovi alata.

Na slobodnoj površini, koja kod normalnih zubi iznosi približno jednu trećinu koraka t, nalaze se dva dijela, i to: veći dio sa slobodnim kutom α i manji dio dužine $f = 0{,}1$ do 1 mm sa slobodnim kutom $\alpha = 0$, koji prelazi u veći dio sa zaokruženjem.

Korak t uzima se za takve veličine da su pri radu u zahvatu uvijek dva zuba, a izračunava se iz jednadžbe:

$$t = (1{,}5 \text{ do } 2) \cdot \sqrt{L}$$

Kao **dubina međuprostora** h obično se uzima:

$$h = (0{,}35 \text{ do } 0{,}5) \cdot t$$

Kada treba da obrađujemo dugačke površine, takav međuprostor nije dovoljan pa se uzima veći korak t, a slobodna površina i dubina h ostaju kao pri normalnim dužinama rada.

Pri veoma kratkim dužinama rada dobili bismo suviše malen korak t. Tu se onda obično obrađuje odjednom više komada pa se time povećava radna dužina. Najmanji korak koji se još upotrebljava jest $t = 4{,}5$ mm. Za postizanje bolje ravnomjernosti rada često se uzimaju nejednaki koraci kod pojedinih zubi, slično kao kod razvrtača.

Broj zubi u zahvatu koji istodobno mogu raditi često se izračunava iz jednadžbe:

$$Z_{max} = (0{,}5 \text{ do } 0{,}7) \cdot L$$

Alati za grebanje prije su se izrađivali isključivo od čelika za cementiranje, kod kojih je manja opasnost od loma. Osim toga takvi se alati poslije kaljenja mogu lakše ispravljati U novije vrijeme uspio je pokušaj da se ti alati izrade i od brzoreznog čelika, kaljenog na tvrdoću 63—65 Rc.

211.062 BRZINE REZANJA PRI GREBANJU

Brzina rezanja pri grebanju odgovara brzini pravocrtnog kretanja grebala.

Kod strojeva s mehaničkim pogonom uzima se brzina rezanja od 1 do 4 m/min, a povratna brzina između 3 i 5 m/min, dok kod strojeva s hidrauličkim pogonom brzine rezanja dostižu vrijednosti od 14 m/min, a povratne brzine između 15 i 30 m/min.

U idućim tablicama dane su brzine rezanja pri grebanju, i to za vanjsko i unutrašnje grebanje.

Brzine rezanja pri grebanju

Tablica 1.

Materijal radnog predmeta	Brzina rezanja u m/min
Čelik i čelični liv	3,0
Legirani čelici	2,0
Lijevano željezo	3,0
Bronca, mjed	2,0
Laki metali	do 14

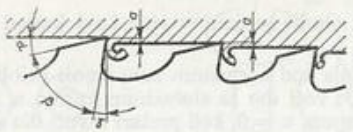
Brzine rezanja pri vanjskom grebanju

Tablica 2.

Materijal radnog predmeta	Brzina rezanja u m/min
Čelik	8—10
Čelični liv	6— 8
Lijevano željezo	6— 8
Kovkasti liv	8—10
Mjed	10—12
Dural	12—16

211.063 SILE PRI GREBANJU

Svaki zub skida strugotinu neke određene debljine, koja je određena visinom prethodnog zuba, kako se to vidi na ⑦.



⑦ Debljina strugotine

Prema tome, kao i dosad, kod ostalih vrsta obrade, glavnu silu rezanja zuba pri grebanju možemo izraziti u obliku jednadžbe:

$$F_z = A_z \cdot f_s \quad (\text{kp})$$

Specifična sila rezanja pri grebanju

Tablica 3.

Materijal predmeta	f_s (kp/mm²)	K
Sivi liv	60 do 100	4,5 do 6
Tvrdi liv		
Čelični liv	90 do 130	4,5 do 6
Meki čelik	110 do 170	2,5 do 3,2
Tvrdi i alatni čelik	160 do 240	2,5 do 3,2
Bronca	50 do 100	—

Koeficijent K omogućuje izračunavanje specifične sile rezanja iz čvrstoće materijala prema jednadžbi:

$$f_s = K \cdot \sigma_R \quad (\text{kp/mm}^2)$$

U toj jednadžbi σ_R označava čvrstoću materijala s obzirom na istezanje. S druge strane sila F_z određena je presjekom jezgre alata za grebanje na mjestu gdje je presjek jezgre najmanji (obično na mjestu pričvršćivanja alata). Sila F_z može se izračunati iz jednadžbe:

$$F_z = \frac{A_{min} \cdot \sigma_d}{z} \quad (\text{kp})$$

Presjek strugotine A jednak je umnošku što ga daje dubina rezanja jednog zuba i širina zuba, odnosno razvijene dužine konture zuba.

Vučna sila stroja je sila potrebna za grebanje. Kada istodobno djeluje veći broj zubi, tu silu možemo izračunati iz jednadžbe:

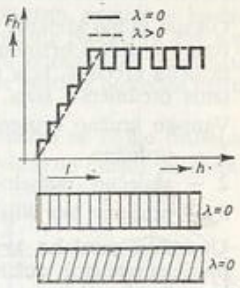
$$F_R = C \cdot f_s \cdot A \cdot z$$

Ovdje je C = 1,1 do 1,3 koeficijent koji uzima u obzir trenje između grebala i zidova otvora na radnom predmetu.

Vučna sila pri grebanju je promjenljiva zbog periodičkog ulaska, odnosno izlaska pojedinih zubi iz materijala. ⑧ nam prikazuje teoretski dijagram promjenljivosti rezultirajuće sile rezanja F_R pri grebanju u zavisnosti od hoda h.

Na slici se vidi da pri početku ulaska grebala u materijal nastaje stupnjevito povećanje sila rezanja do trenutka kad prvi zubi grebala počinju napuštati materijal i tada se periodički smjenjuje porast sile rezanja s opadanjem za veličinu sile rezanja jednog zuba.

Puna crta na dijagramu odgovara ravnim zubima, dok se kod kosih zubi postiže ravnomjernija sila, koja pri nagibu $\lambda = 30°$ već postaje gotovo potpuno ravnomjerna (isprekidane crte na ⑧), ali se tada pojavljuje bočna komponenta sile rezanja, koja dopunski opterećuje alat i alatni stroj.



⑧ Teoretski dijagram glavne sile rezanja

211.07 BRUŠENJE

Brušenje je postupak obrade skidanja strugotine koji karakterizira promjenljiv presjek strugotine. Ovdje se radi o vrlo malim presjecima strugotine, koju onda nazivamo piljevinom. To je nadalje, jedna od operacija završne obrade, ali se primjenjuje i u nekim operacijama grube obrade. Ono sve dobiva veće značenje u proizvodnji, prije svega zbog velike točnosti i kvalitete površine koju tim postupkom možemo postići. Za završnu obradu čelika i sivog liva, kad je potrebno postići velike točnosti, gotovo uvijek se upotrebljava brušenje.

Osnovne karakteristike toga postupka jesu:

1 — velika brzina rezanja, koja iznosi od 30 do 50 m/s za glavno kretanje uz istodobnu upotrebu malih brzina posmičnog kretanja (10 do 80 m/min)

2 — geometrijski oblik osnovnih alata za brušenje vrlo je različit i neujednačen tako da se ne može govoriti o nekoj strogo određenoj geometriji alata.

Brušenje se primjenjuje za obradu svih površina koje se obrađuju tokarenjem, blanjanjem, bušenjem i glodanjem. Prema tome, taj postupak mogli bismo podijeliti slično kao i tokarenje, a uz to dodati mu sve one načine koji postoje i pri kratkohodnom blanjanju.

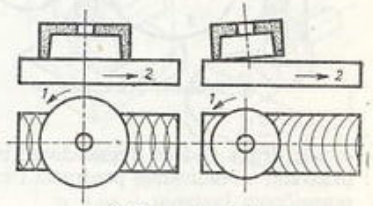
S obzirom na kinematiku i jednostavnost brušenje obično dijelimo ovako:

1 — vanjsko kružno brušenje

2 — unutrašnje kružno brušenje

3 — plošno brušenje

4 — profilno brušenje.



① Čeono brušenje

Pri čeonom plošnom brušenju razlikujemo rad okomito postavljenim alatom i alatom nagnutim za vrlo malu vrijednost od nekoliko minuta. Time dobivamo u prvom slučaju paralelno zaobljene tragove brušenja, a u drugom slučaju križno presijecane tragove brušenja, kako to vidimo na ①. Prvi postupak brušenja primjenjujemo pretežno pri gruboj obradi, a po drugom radimo ako se radi o preciznijim i finijim brušenjima.

211.071 NAČINI BRUŠENJA

211.071.1 Vanjsko kružno brušenje

Glavno radno kretanje izvodi alat, i to kružno s obodnom brzinom v_b. Tu brzinu smatramo ujedno i brzinom rezanja. Posmično kretanje u većini slučajeva sastoji se od dva različita kretanja, koja može izvoditi predmet ili alat, a može to biti i kombinacija kretanja predmeta i alata.

Vanjsko kružno brušenje može biti:

1 — uzdužno

2 — zasječno (radijalno)

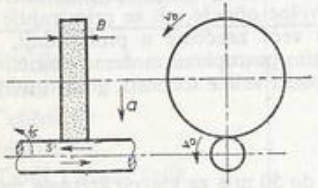
3 — brušenje bez šiljaka.

Uzdužno vanjsko kružno brušenje najviše se primjenjuje kod predmeta kružnog presjeka različitih dužina. Posmično kretanje sastavljeno je od dva kretanja, i to kružnog kretanja obradivog predmeta s obodnom brzinom v_o i uzdužnog kretanja s', koje normalno izvodi predmet, a nekada i alat. To brušenje prikazano je na ②. Dubina rezanja a je mala i uzima se:

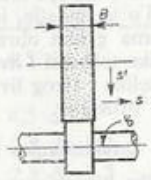
$$a = 0{,}005 \text{ do } 0{,}09 \text{ mm kod dvostrukog hoda.}$$

Uzdužni posmik uzima se u zavisnosti od širine brusne ploče B:

$$s' = (0{,}2 \text{ do } 0{,}8) \cdot B \quad \text{mm/okretaj predmeta.}$$

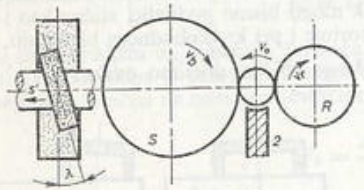


② Uzdužno vanjsko kružno brušenje



③ Zasječno brušenje

Zasječno (radijalno) vanjsko kružno brušenje primjenjujemo kod predmeta manjih dužina. Širina brusne ploče B mora biti jednaka ili je veća od dužine predmeta ③.



④ Brušenje bez šiljaka

Iz slike vidimo da je posmično kretanje sastavljeno od kružnog kretanja predmeta (V_o) i pravocrtnog kretanja alata (s') u smjeru radijalnom prema osi predmeta. Tim postupkom postižemo mnogo veći učinak rada nego prethodnim.

Brušenje bez šiljaka je posebna metoda vanjskog kružnog brušenja, gdje radni predmet nije stegnut između šiljaka ④, već je samo naslonjen na uzdužni podupirač (2) i umetnut između dviju brusnih ploča, od kojih je jedna glavna brusna ploča (S) velike obodne brzine, dok je druga vodeća (regulaciona) brusna ploča male obodne brzine (R), a služi za pridržavanje obrađivanog predmeta i za njegovo kočenje do brzine koja odgovara kružnom posmičnom kretanju.

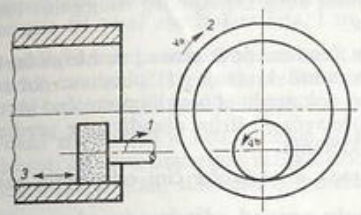
Os regulacijske ploče nagnuta je za kut λ prema osi glavne brusne ploče da bi radni predmet dobio komponentu brzine u aksijalnom smjeru. Veličina kuta regulira se veličinom uzdužnog posmika, koji se može izračunati iz jednadžbe:

$$s' = v_b \cdot \sin\lambda = D_R \cdot \pi \cdot n_R \cdot \sin\lambda \text{ (mm/min)}$$

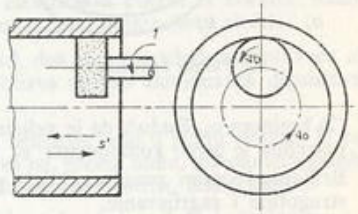
211.071.2 Unutarnje kružno brušenje

Unutarnje kružno brušenje zahtijeva ista kretanja kao i vanjsko kružno brušenje ⑤: brusna ploča valjkastog oblika izvodi glavno kretanje (1), i to kružno, posmično kružno kretanje (2) radnog predmeta i posmično uzdužno kretanje brusne ploče (3). Pri tom brušenju promjer brusne ploče mora biti manji od promjera obradivanog predmeta. Nasuprot tome, broj okreta brusne ploče mora biti velik da bi se postigla potrebna brzina rezanja.

Brusilice za unutarnje brušenje imaju ponekad i vretena s brusom za čeono brušenje. To brušenje može biti s uzdužnim ili poprečnim posmikom, zavisno od dužine predmeta.



⑤ Unutarnje kružno brušenje



⑥ Unutarnje planetarno brušenje

Unutarnje brušenje može biti i planetarno ⑥, a primjenjujemo ga za brušenje teških i glomaznih predmeta. Pri unutarnjem planetarnom brušenju predmet se ne okreće. On je pričvršćen na stol, dok se brusna ploča kao alat okreće oko svoje osi. Osim toga brusna ploča izvodi i kružnu komponentu posmika, brzinom v_b, time da putuje kao planet oko osi obradivanog predmeta. Uzdužnu komponentu posmičnog kretanja obično izvodi predmet koji obrađujemo, i to tako da oscilira u pravcu posmika.

211.071.3 Plošno brušenje

Plošno brušenje je brušenje ravnih površina, a možemo ga izvesti na dva načina:

1 — kao brušenje obodom brusne ploče

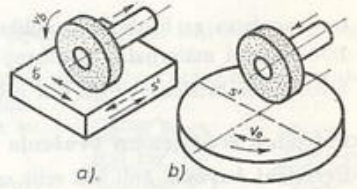
2 — kao brušenje čeonom površinom brusne ploče.

U oba ova slučaja glavno radno kretanje je kružno i uvijek ga obavlja alat (brusna ploča), dok je posmično kretanje sastavljeno od dviju komponenti i gotovo uvijek ga izvodi obradivani predmet.

Brušenje obodom brusne ploče. Glavno radno kretanje (1) je kružno i izvodi ga alat ⑦.

Posmično kretanje izvodi obradivani predmet, a ono je sastavljeno za slučaj prikazan na ⑦. Od uzdužnog pak posmičnog kretanja brzinom v_o, koje oscilira, i povremenog posmičnog kretanja s', koje je okomito na posmičnu brzinu v_o, taj posmik izvodi se u momentima prekretanja.

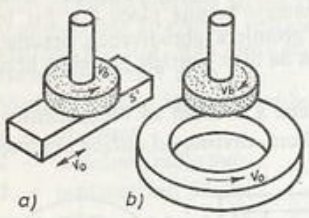
Prema primjeru prikazanom na ⑦b poprečnu komponentu posmičnog kretanja s' izvodi sama brusna ploča.



⑦ Brušenje obodom brusne ploče

Brušenje čeonom površinom brusne ploče. Kao alat upotrebljavamo šuplju brusnu ploču, koja svojom čeonom površinom obrađuje radni predmet. Razlikujemo dvije mo-

gućnosti tog brušenja ⑧. U prvom slučaju, koji prikazuje ⑧a, brusna ploča stoji okomito na površinu obrađivanog predmeta. Kod brusnih ploča čiji je promjer veći od širine obrađivanog predmeta, brušenje se ostvaruje lijevom ili desnom stranom čeone površine, a pri tome ono ostavlja na obrađenoj površini ukrštene tragove brušenja.



⑧ Plošno brušenje

Pri drugom načinu ⑧b brusna ploča je nagnuta u odnosu prema normalnoj površini i obrađivanog predmeta, pa samo jednim svojim dijelom dodiruje površinu obrađivanog predmeta. Taj način brušenja naziva se još i lučnim brušenjem. Pri tom lučnom brušenju opterećenje brusne ploče je manje, ali je i točnost obrade zbog nepotpunog nalijeganja brusne ploče manja.

Pri brušenju čeonom površinom brusna ploča obavlja glavno radno kretanje (1) obodnom brzinom brusne ploče, dok predmet obavlja posmično kretanje (2) brzinom v_0. Budući da je veličina brusne ploče veća od širine obrađivanog predmeta, potrebna je samo komponenta v_0 posmičnog kretanja.

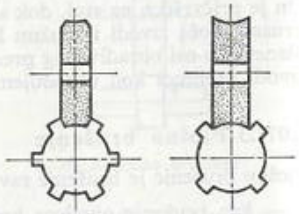
Brušenje čeonom površinom daje **veći učinak** rada, ali teškoću čini odvođenje nastale strugotine i zagrijavanje.

211.071.4 Profilno brušenje

Profilno brušenje uglavnom se primjenjuje kao završna obrada kod raznih ožlijebljenih vratila ⑨.

U zavisnosti od obrađivane površine upotrebljavaju se brusne ploče različitih profila. Pri takvom načinu rada glavno kretanje je kružno i izvodi ga brusna ploča, a obrađivani predmet izvodi uzdužno posmično kretanje.

Zatim tu spada obrađivanje, odnosno brušenje navoja i zupčanika, koje u načelu ne znači ništa specijalno u usporedbi s nabrojenim postupcima brušenja, samo je kinematika nešto kompliciranija.


⑨ Profilno brušenje

211.072 ALATI ZA BRUŠENJE

Kao alat za brušenje služi brusna ploča. Ona se sastoji od dvaju osnovnih materijala.

To su:

1 — sredstva za brušenje u obliku različitih zrna

2 — vezivni materijal.

Sredstva za brušenje mogu biti prirodna i umjetna.

Prirodna sredstva za brušenje

Prirodni korund, koji ima velik sadržaj aluminijevih oksida. Najbolji je onaj s dobrom osobinom lomljenja.

Šmirak je smjesa aluminijeva oksida i magnetno-željezne rude s hematitom, kvarcom i raznim silikatima.

Kvarc se u prirodi nalazi kao tvrd i krt materijal, a upotrebljava se za brušenje metala, drveta, stakla i kamena.

Dijamant je najtvrđe prirodno sredstvo za brušenje. Tvrdoća mu je po Mohsovoj skali 10.

Prirodna sredstva za brušenje sve se manje primjenjuju zbog sve veće primjene umjetnih materijala.

Umjetna sredstva za brušenje

Silicijev karbid (karborundum). Dobiva se uglavnom topljenjem koksa, kvarcnog pijeska i soli u električnoj peći. Rezultat su romboidni kristali tvrdoće dijamanata.

Specijalni korund (elektrokorund) dobiva se električnim putem iz boksita. Razlikujemo tri vrste elektrokorunda, i to s obzirom na sadržaj aluminijeva oksida.

Borkarbid se proizvodi slično kao i silicijev karbid, dok mu je tvrdoća znatno veća od tvrdoće ovoga. Zbog svoje velike tvrdoće upotrebljava se kao zamjena za dijamantni prah i za obradu tvrdih metala.

Vezni materijal je ona materija koja sredstvo za brušenje veže u jednu cjelinu. U zavisnosti od vrste materijala razlikujemo i vrstu veziva pa, prema tome, imamo anorganska veziva (keramička, silikatna, magnezitna) i organska veziva (bakelit, šelak, guma).

Glavne karakteristike brusne ploče. To su: njena finoća, tvrdoća i struktura.

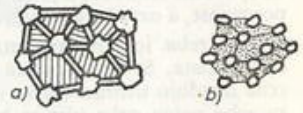
Finoća brusne ploče je mjerilo za veličinu zrnaca kod sredstava za brušenje. Ona je zavisna od kvalitete površine koju želimo obrađivanjem postići. Krupnoća zrnaca označava se brojevima koje dobijemo prema broju rupica na situ na dužini od 25 mm. To znači da kod tih rupica zrna još propadaju.

Oznaka i finoća brusne ploče s obzirom na krupnoću zrna

Tablica 1.

Krupnoća zrna	Oznaka				
Jako gruba	8	10	12		
Gruba	14	16	20	24	
Srednja	30	36	46	54	60
Fina	70	80	90	100	120
Jako fina	180	180	220	240	
Prašina	280	320	400	500	600

Tvrdoća brusne ploče je otpor veziva protiv ispadanja zrnca, koji ovisi o čvrstoći vezivnog materijala. Ako materijal obrađivanog predmeta ima veliku tvrdoću, bit će pri brušenju tog materijala vijek trajanja brusne ploče manji zbog bržeg habanja zrnaca. Brusne ploče s velikim otporom nazivamo tvrdima, dok su one s malim otporom meke. Uobičajene su oznake za tvrdoću prema tablici 2.



⑩ Presjek brusne ploče

Struktura brusne ploče je karakteristika koja pri istoj finoći i tvrdoći može biti različita. Tim izrazom označujemo količinu zrna i veziva u jedinici zapremnine brusne ploče. Na ⑩ dan je shematski prikaz dviju brusnih ploča iste finoće i tvrdoće, ali različite strukture, pri čemu točkasta površina označava zrnca, crne crte vezni materijal, dok su bijele površine međuprostori. Struktura se označava brojevima od 1 do 9.

Otvorenom strukturom nazivamo visoko poroznu strukturu brusne ploče, a označavamo je brojevima 7, 8 i 9.

Pregled označavanja tvrdoće brusne ploče

Tablica 2.

Oznaka	Winterthur	Norton (DIN 69 100)	Krug
Vrlo meko	E F G H	E F G H	1 2
Meko	I K	I J K	3 4
Srednje	L M N	L M N O	5 6
Tvrdo	O P	P Q R S	7 8
Vrlo tvrdo	Q R S	T U V W	9 10
Osobito tvrdo	T W Z	X Y Z	11 12

Srednje porozna struktura je struktura označena brojevima 4, 5 i 6.

Zatvorena struktura je najgušća struktura, koja ima najmanju poroznost, a označena je brojevima 1, 2 i 3.

Ovdje treba još napomenuti neke specifičnosti geometrijskog oblika alata. Svako zrno za sebe je nepravilnog oblika jer se zrna izrađuju usitnjavanjem iz osnovne mase. Dalje svako zrno za sebe nema neke oštrice kao dosad poznati alati, nego samo zaokruženi vrh.

⑪ Profil zrna

Zoje nema zaokruženog vrha ima malen vijek trajanja. Profil zrna vidi se na ⑪. Zaokruženja obično iznosi nešto manje od 0,01 mm.

211.073 OBLICI ALATA ZA BRUŠENJE

Brusne ploče su po vanjskom geometrijskom obliku vrlo različite. Njihovi osnovni oblici vide se na ⑫.

1 — Koturasta brusna ploča ⑫a. Za nju je karakterističan odnos:

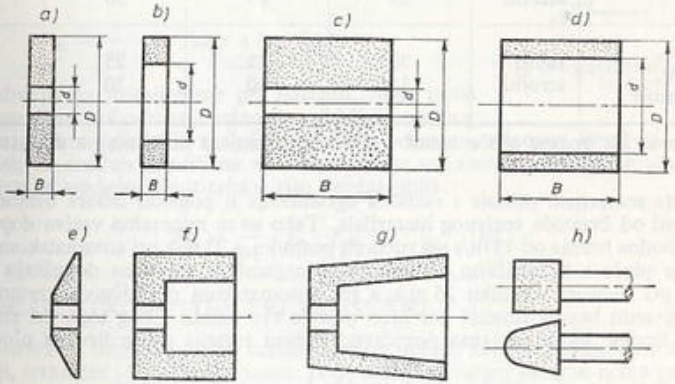
$$\frac{D-d}{2} > B \quad \text{i} \quad \frac{D-d}{2} > d$$

2 — Prstenasta brusna ploča ⑫b. Za nju je karakterističan odnos:

$$d > \frac{D}{4} \quad \text{i} \quad \frac{D-d}{2} > B$$

3 — Valjkasta brusna ploča ⑫c. Za tu ploču karakterističan je odnos:

$$\frac{D-d}{2} < B \quad \text{i} \quad \frac{D-d}{2} > d$$



⑫ Osnovni oblici brusnih ploča

4 — Obručna brusna ploča ⑫d. Za nju je karakterističan odnos:

$$\frac{D-d}{2} < B \quad \text{i} \quad d > \frac{D}{2}$$

5 — Tanjurasta brusna ploča ⑫e. Za nju vrijedi odnos:

$$B < \frac{D}{8}$$

6 — Lončasta brusna ploča ⑫f i g. Upotrebljava se obično za rad s čeonom površinom.

7 — Vretenasti brusovi ⑫h. Izrađuju se u različitim veličinama do promjera od najviše 50 mm. Vreteno je izrađeno od čelika.

211.074 BRZINE REZANJA PRI BRUŠENJU

Brzina rezanja je obodna brzina brusne ploče. Pri brušenju su brzine rezanja velike pa se zbog toga izražavaju u m/s umjesto u m/min kao kod ostalih vrsta obrade. Brzinu brušenja izračunavamo iz jednadžbe:

$$v_b = \frac{D_b \cdot \pi \cdot n_b}{60\,000} \quad \text{(m/s)}$$

Da dobijemo što manje opterećenje zrna, upotrebljavamo brusne ploče što većeg promjera i sa što većom brzinom brušenja radi kvalitete obrađene površine i s obzirom na ekonomičnost trošenja brusne ploče. Međutim, brzina brusne ploče ne smije da prijeđe stanovite određene vrijednosti koje su uvjetovane čvrstoćom brusne ploče, kao i zagrijavanjem obrađivanog predmeta i brusne ploče.

Maksimalne brzine pri brušenju u (m/s) Tablica 3.

Vezivo brusne ploče	Način posmika	Promjer brusne ploče do 150 mm		Promjer brusne ploče iznad 150 mm	
		Koturasti brus	Ostali brusovi	Koturasti brus	Ostali brusovi
Mineralno	ručni	15	15	15	12
	strojni	25	25	20	15
Keramičko, vegetabilno, umjetne smole	ručni	30	25	25	20
	strojni	35	30	30	25

Napomena. Za brusne ploče iznad 1 000 mm promjera maksimalna dopuštena brzina je 15 m/s.

Za različite materijale postoje i različita ograničenja u pogledu izbora brzine brušenja u zavisnosti od čvrstoće vezivnog materijala. Tako se za mineralna veziva dopušta maksimalna obodna brzina od 15 m/s pri ručnom posmiku, a 25 m/s pri automatskom posmiku. Za brusne ploče s keramičkim, silikatnim ili organskim vezivima dopuštaju se brzine brušenja pri ručnom posmiku 25 m/s, a pri automatskom posmičnom kretanju 35 m/s. Pri smanjivanju brzine rezanja isti brus postaje sve mekši. Zbog toga pri smanjivanju promjera brusne ploče moramo povećavati brzinu rezanja da se brusna ploča previše ne troši.

Brzina okretanja predmeta pri kružnom brušenju izračunava se prema jednadžbi:

$$v_0 = \frac{D \cdot \pi \cdot n_0}{1\,000} \quad \text{(m/min)}$$

Velike brzine obrađivanog predmeta povećavaju presjek strugotine i time opterećuju brusnu ploču, koja se brzo troši.

Brzina okretanja radnog predmeta mora uvijek biti usklađena s uzdužnom komponentom posmičnog kretanja.

Uzdužni posmik pri kružnom brušenju uzima se u zavisnosti od širine brusne ploče i brzine okretanja predmeta v_0. Taj se posmik može mjeriti u mm na okret predmeta i tada ga označavamo sa s ili ga uzimamo kao brzinu koja se može izračunati iz jednadžbe:

$$s' = s \cdot n_0 \quad \text{(mm/min)}$$

Preporučuju se ove veličine uzdužnog posmika predmeta:

za čelik $s = (0{,}6 \text{ do } 0{,}7) \cdot B$
za sivi liv $s = (0{,}7 \text{ do } 0{,}8) \cdot B$
za fino brušenje $s = 0{,}2 \cdot B$.

211.075 SILE REZANJA PRI BRUŠENJU

Brusna ploča je alat s vrlo velikim brojem oštrica. Budući da pri radu istodobno sudjeluje veći broj oštrica, bit će nam korisno poznavanje srednje rezultirajuće sile rezanja.

Ako promatramo samo jedno zrno, na njemu se pojavljuje samo elementarna sila rezanja F', koju možemo rastaviti u tri komponente. To su:

1 — glavna sila rezanja F_h
2 — posmična sila F_s
3 — natražna komponenta F_a.

Natražna komponenta je najveća od triju komponentnih sila, a uzrok je tome velik negativni kut prednje površine.

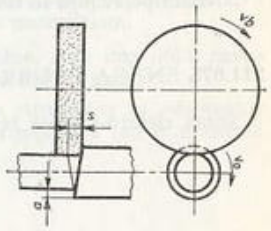
Suma svih elementarnih sila daje nam rezultirajuću silu F.

Najmanja od komponenti rezultirajuće sile jest posmična komponenta F_s, a najveća natražna komponenta F_a. Odnos između glavne sile rezanja i natražne sile iznosi:

$F_h : F_a = 1 : (1 \text{ do } 3$ zavisno od dubine brušenja)

Za izračunavanje srednje rezultirajuće sile F_m možemo se poslužiti jednadžbom koju upotrebljavamo pri glodanju.

$$F_m = \frac{s}{v} \cdot b \cdot f_{sm} \cdot a \quad \text{(kp)}$$



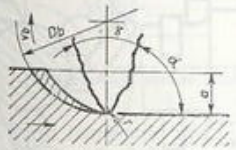
⑬ Određivanje sile rezanja pri brušenju

Ako prednji izraz primijenimo pri bušenju, onda treba korak s zamijeniti obodnom brzinom v_r (vidi ⑬) radnog predmeta, a širinu glodanja b aksijalnom komponentom, odnosno korakom s_a pri brušenju, dok će srednja specifična sila imati druge vrijednosti nego pri glodanju. Na taj način izraz za srednju rezultirajuću silu dobiva oblik:

$$F_m = \frac{v_r}{v_t} \cdot s_a \cdot f_{sm} \cdot a \cdot \frac{1}{60} \quad \text{(kp)}$$

211.076 OBLIK STRUGOTINE PRI BRUŠENJU

Zrna sredstva za brušenje imaju karakteristične oblike, koji nas podsjećaju na oktaedar, trapezoid, tetraedar i trostranu prizmu. Iz ⑭ možemo vidjeti da zrno nema prave oštrice, nego se pri vrhu zaokružuje radijusom r. Kut prednje površine jako je negativan ($-\gamma$). Ako ga pak promatramo na samom vrhu zrna, u tački dodira s obrađenom površinom, imamo čak ($\gamma = -90°$).



⑭ Jako uvećano zrno brusne ploče s kutovima i oblik strugotine

⑮ Strugotina pri brušenju

Iz tog razloga strugotina se ne skida na isti način kao kod ostalih postupaka za obradu skidanja strugotine. Na mjestu dodira zrna i predmeta zbog trenja momentano se stvaraju veoma visoke temperature. Materijal postaje u momentu prolaza materijala plastičan, što potpomaže rezanje, jer bez plastičnosti rezanje takvim oblikom alata ne bi bilo moguće. Strugotina koju skida jedno zrno ima približno oblik kakav je prikazan na ⑮. Zbog velikog broja zrna od kojih je sastavljena brusna ploča u jednoj minuti nastaje pri brušenju više milijuna pojedinih strugotina.

211.077 POSTOJANOST BRUSNE PLOČE

Vijek trajanja brusne ploče može biti vrlo različit u usporedbi s alatima koje smo dosad upotrebljavati. Uglavnom ovisi o načinu trošenja brusne ploče. Ono se obavlja u dva oblika. To su:

1 — djelomičan lom pojedinih zrnaca, time da se lome pojedini djelići, ili potpun lom pojedinih zrna, koja u cjelini ispadaju iz površine brusne ploče

2 — lom sasvim malih djelića pojedinih zrna i zaobljenje te omekšanje brusnih zrna.

Prvi oblik trošenja povećava sposobnost rezanja brusne ploče, dok drugi oblik smanjuje njenu sposobnost rezanja. Pri tom drugom obliku trošenja povećava se dodirna površina između predmeta i alata. Trenje se povećava i predmet se jače zagrijava. Na njegovoj površini pojavljuju se tamne mrlje, koje su popraćene vibracijama brusne ploče.

211.078 SNAGA PRI BRUŠENJU

Snaga elektro-motora za pogon brusne ploče može se odrediti iz jednadžbe:

$$P_{Bb} = \frac{F_b \cdot v_b}{102\,\eta} \quad (kW)$$

Snaga elektromotora za pokretanje predmeta koji obrađujemo određuje se iz jednadžbe:

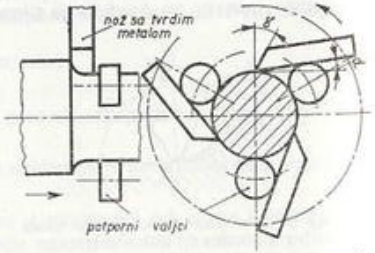
$$P_{Bo} = \frac{F_h \cdot v_o}{6\,120\,\eta} = (kW)$$

211.08 LJUŠTENJE

Ljuštenje je način završne obrade kojom se ne oblikuje radna površina, već se ona ispravlja.

Taj postupak obrade skidanja strugotine možemo najbolje opisati ako kažemo da je ljuštenje kinematska reverzija tokarenja.

Potreba da se uvede ekonomičnije i zgodnije tokarenje dugih osovina bez neke osobite i izvanredne točnosti, kao što je to slučaj u valjaonicama, gdje često treba da pretokarimo vrlo duge osovine, dovela je do posebnog rješenja stroja koji upotrebljavamo pri ljuštenju. Rješenje citavog alatnog stroja našlo se u jednoj alatnoj glavi prikladno opremljenoj noževima, koja zajedno s ovima obavlja glavno kretanje, i to kružno. Posmično kretanje izvodi obradivana osovina koja se odgovarajućim uređajem pomiče i putuje kroz tu glavu. Shematski je taj postupak s položajem noževa prikazan na ①.



① Postupak obrade ljuštenjem s pripadajućim noževima

Radi vođenja i centriranja osovine, što inače s primjenljivim jednostavnim posmičnim uređajem ne bi bilo osigurano, postoji u samoj glavi još centriranje, odnosno vođenje osovine s odgovarajućim potporama u obliku točkića i kotača. Postupak zovemo ljuštenjem jer s obzirom na smještaj noževa imamo mogućnost rada s vrlo velikim kutom prednje površine oko 30°.

211.09 REZANJE (PILJENJE)

Piljenje je postupak obrade skidanja strugotine koji se upotrebljava pri odsijecanju i dijeljenju materijala.

Prema načinu kretanja alata piljenje može biti:

1 — pravocrtno i

2 — kružno.

Pravocrtno piljenje je onaj postupak pri kojem se kao alat upotrebljava tračna ili lisna pila. Ako se pak za to upotrebljava tračna pila, onda je alat postavljen koso u odnosu prema smjeru brzine rezanja pa se time postiže da svaki zub skida strugotinu sasvim jednako kao i pri grebanju. Glavno kretanje tih pila je pravocrtno.

Kod lisnih pila, gdje pila nije beskonačna, poslije svakog radnog hoda potreban je još i povratan hod, za vrijeme kojega pila ne smije biti u dodiru s materijalom.

Kružno piljenje. Pri tom postupku glavno kretanje je kružno. Alat ima oblik nazubljenog diska. Postupak je vrlo sličan glodanju, a razlika je u obliku alata.

Kružno piljenje izvodi se na glodalicama ili na specijalnim strojevima za odsijecanje materijala. Tu se obično upotrebljavaju kružne pile većih promjera, a rad je u načelu jednak glodanju.

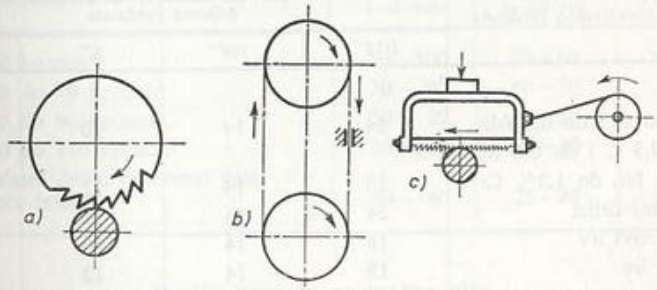
211.091 ALATI ZA PILJENJE

Razlikujemo ih prema njihovu osnovnom obliku. Tako imamo: lisne, tračne i kružne pile.

Lisne pile služe za ručno i strojno piljenje.

Tračne i kružne pile uvijek su na motorni pogon.

Operacije piljenja naprijed navedenim alatima mogu se vidjeti na ①.



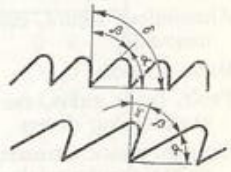
① Operacije obrade piljenja: a — kružnom, b — tračnom, c — lisnom pilom

Kružna, kao i lisna pila, služi za odsijecanje materijala većeg presjeka, dok tračna pila uz odsijecanje materijala manjeg presjeka služi i za urezivanje i izrezivanje pri izradi alata ili sličnih dijelova.

Osnovne kutove alata koji služi za piljenje vidimo na ②.

Ovdje je uvjet da je zbroj kutova $\alpha + \beta + \gamma = 90°$.

U tablici 1. nalazimo prosječne vrijednosti kuta prednje površine γ i kuta slobodne površine α u zavisnosti od materijala obrađivanog predmeta. Osim kutova danih u tablici 1. upotrebljavaju se često i oblici zuba sa $\gamma = 0$.



② Profil zuba

Prosječne vrijednosti kutova zuba kružne p le

Tablica 1.

Materijal obrađivanog predmeta	$\gamma°$	$\alpha°$
Čelik čvrstoće do 50 kp/mm²	18—22	6—8
Čelik čvrstoće do 75 kp/mm²	15—20	5—7
Čelik čvrstoće iznad 75 kp/mm² kao i legirani čelici	10—15	5—6

Veličina zubaca odabire se tako da se uz predviđenu debljinu predmeta u radu nalaze istodobno najmanje dva zupca.

Veličina zubaca izražava se brojem zubaca na jedinicu dužine, npr. na 1 cm ili 1 col, a odabire se ovisno o debljini raspiljenog presjeka, a donekle i o njegovu obliku. Što je manja debljina ili promjer piljenog predmeta, to sitniji treba da budu zupci.

Zubni razmak t odabire se s obzirom na količinu strugotine skinute po jednom zupcu jer ona treba da se lako smjesti u zubni međuprostor.

Zupci su gotovo kod svih vrsta pila izvinuti izvan ravnine pile da se spriječi trenje između pile i piljenog materijala.

Lisne pile. Kod lisnih pila koje se upotrebljavaju za ručno piljenje ozubljenje je dvostrano, a kod motornih pila ono je jednostrano. Izrađuju se za dužine $l = 300$ do 600 mm. Kut prednje površine γ ide od 0° do 5°, a slobodni kut α od 30° do 40°.

Broj zubaca na 1″ za različite debljine piljenog predmeta

Tablica 2.

Materijal obrađivanog predmeta	Broj zubaca na 1″ za debljinu piljenog predmeta			
	1/16″	1/4″	1″	3″
Čelici				
0,1—1,0 C i do 0,6 Mn	24	14	10	6
0,13—0,5 C i do 0,9 Mn do 4% Ni, do 1,2% Cr	18	14	12	6
Brzorezni čelici	24	14	10	6
Strojni sivi liv	18	14	10	6
Čelični liv	18	14	12	6

Materijal obrađivanog predmeta	Broj zubaca na 1″ za debljinu piljenog predmeta			
	1/2″	2″	4″	6″
Aluminijeva legura, cink, magnezij	4	3	3	2
Bakar i mjedi	6	4	3	3
Papir, tvrda guma, sve vrste tvrdog drveta	6	6	6	4
Umjetni plastični materijali na bazi fenola, celuloze i dr.	6	4	3	2

Tračne pile. Upotrebljavaju se za piljenje metalnih i nemetalnih materijala. Izrađuju se u obliku čeličnih traka debljine 0,60 do 0,85 mm, širine 6 do 40 mm, s ozubljenjem i kutovima, kao i na lisnim pilama. Tablica 2. pokazuje kako se mijenja gruboća zrna s materijalom i debljinom piljenog predmeta.

Kružne pile su vrlo čest oblik alata za piljenje metalnog materijala. One se za obradu metala izrađuju bez razvraćanja zubaca, ali se list pile izvodi stanjen prema središtu. Često se upotrebljavaju pile s umetnutim zupcima od kvalitetnog čeličnog materijala ili tvrdog metala.

211.092 BRZINE REZANJA PRI PILJENJU

Kod kružnih pila brzina rezanja ovisi o materijalu i finoći zuba. U tablici 3. navodimo vrijednosti za brzine rezanja za kružne pile od brzoreznog čelika.

Za sivi liv i za temper-liv brzina rezanja kreće se između 20 i 40 m/min, za mjed i bakar do 200 m/min, za žilave lake metale 200 do 400 m/min te između 200 i 800 m/min za tvrde lake metale.

Brzina posmičnog kretanja za kružne pile kreće se između 10 i 1 400 mm/min.

Pri obradi bakra i mjedi brzine rezanja kreću se i do 200 m/min kod tračnih pila. Ako pak njima obrađujemo lake metale, onda su brzine rezanja između 1 000 i 2 500 m/min.

Kod okvirnih pila brzine rezanja kreću se između 10 i 30 m/min, pri čemu se kraće radno vrijeme i veća postojanost postižu ako radimo manjim brzinama rezanja, ali s velikim pritiskom na okvir.

Brzine rezanja za kružne pile u m/min

Tablica 3.

Materijal obrađivanog predmeta	Fini zubi koraka 1—5 mm	Srednje fini zubi koraka 3—10 mm	Grubi zubi koraka 7,5—14 mm
Čelik do 50 kp/mm²	80—100	70—80	40—50
Čelik od 50 do 70 kp/mm²	70— 90	60—70	30—40
Čelik od 70 do 90 kp/mm²	50— 60	40—50	20—30
Čelik od 90 do 110 kp/mm²	30— 40	25—40	15—20
Nekaljeni alatni čelik, brzorezni čelik i nerđajući čelik	30— 40	25—40	15—20

Brzine rezanja za tračne pile

Tablica 4.

Materijal obrađivanog predmeta	Brzina rezanja m/min	Broj zubi na 1 cm
Čelik do 50 kp/mm²	40—45	2—4
Čelik od 50 do 70 kp/mm²	30—40	3—5
Čelik od 70 do 90 kp/mm²	20—30	5—7
Čelik od 90 do 110 kp/mm²	8—10	7—9
Nekaljeni alatni i brzorezni čelik	8—10	7—9

211.093 SILE REZANJA PRI PILJENJU

Proračun sila rezanja za piljenje kružnom pilom možemo izvesti pomoću jednadžbi koje smo upotrijebili pri glodanju. Isto tako pri radu s tračnim i okvirnim pilama možemo izračunati sile pomoću jednadžbi koje smo upotrijebili pri grebanju.

211.10 OZUBLJIVANJE

Pod ozubljivanjem razumijevamo izradu navoja različitim postupcima obrade skidanja strugotine i različite načine izrade zupčanika. Zbog nedostatka prostora možemo te postupke tek nabrojiti a nešto opširnije obradit ćemo samo neke od njih.

211.101 IZRADA NAVOJA

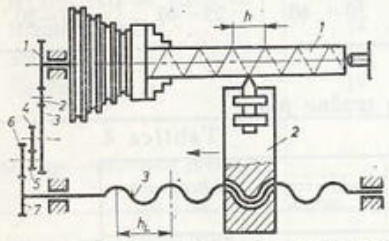
Navoje možemo obradivati različitim procesima obrade skidanja strugotine. Prema vrsti navoja (vanjski, unutarnji, dugački ili kratki, za spajanje ili za prijenos kretanja) i prema opsegu proizvodnje određujemo postupak izrade, strojeve i alate. Poseban oblik izrade navoja jest izrada navojnim svrdlima, koja može biti ručna i strojna. Navoje možemo izradivati različitim strojevima. Tako imamo:

1 — izradu na tokarilici
2 — ekscentrično rezanje navoja
3 — izradu navoja na bušilici
4 — izradu navoja na glodalici
5 — izradu navoja na brusilici i
6 — izradu navoja češljastim noževima.

Opća načela njihove izrade prikazat ćemo kod postupaka koje budemo opisivali.

211.101.1 Izrada navoja na tokarilici

Princip izrade navoja na tokarilici (revolverskoj i automatskoj), sastoji se u tome da pri punom okretu radnog predmeta (1) koji izvodi glavno kretanje, odnosno glavnog vretena, nosač alata (2) zajedno s nožem pomoću vodećeg vretena (3) mora da prijeđe put jednak jednom koraku zavojnice koja se izrađuje. To se vidi na ①.



① Princip izrade zavojnice na tokarskom stroju

Ta zavisnost prikazana je jednadžbom:

$$n_L \cdot h_L = h \cdot 1$$

Na temelju te jednadžbe dobivamo broj okreta vodećeg vretena:

$$n_L = \frac{h}{h_L}$$

Taj broj n_L istodobno je ukupan prijenosni odnos zupčanika između glavnog i vodećeg vretena. Ukupan prijenosni odnos odnosi se na zupčanike od 1 do 8 prema ①. Prijenosni odnos nekog para zupčanika jest odnos brojeva zuba vodećeg prema vođenom zupčaniku. Zupčanici od 1 do 4 su stalni zupčanici, čiji je prijenosni odnos obično jednak jedinici, dok su zupčanici od 5 do zaključno 8 promjenljivi i biraju se zavisno od uspona h zavojnice koja se izrađuje, kao i zavisno od koraka h_L vodećeg vretena. Pomoću promjene

promjenljivih zupčanika ① navoji se izrađuju kod strojeva starije konstrukcije i kod malih tokarilica. Na modernijim tokarilicama, zupčanik se mijenja pomoću posebnih prijenosnika za posmično kretanje, koji omogućuju izradu i standardnih milimetarskih, i Witworthovih, i modulskih navoja. To uključivanje provodi se brzo pomoću raznih ručica. U tablici 1. dajemo pregled formula za proračun prijenosnih odnosa pri rezanju navoja.

Tabelarni pregled formula

Za proračun prijenosnih omjera pri rezanju navoja — Tablica 1.

Reže se navoj		Navojno vreteno			
		milimetarsko		colno	
		formula $i = \frac{h_A}{h_L}$	dimenzije	formula $i = \frac{h_A}{h_L}$	dimenzije
Prijenosni omjer $i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$	M milimetarski	$\frac{h_M}{h_L}$	$h_M \left[\frac{mm}{zav}\right]$ $h_L \left[\frac{mm}{zav}\right]$	$\frac{h_M \cdot g_L}{25{,}4}$	$h_M \left[\frac{mm}{zav}\right]$ $g_L \left[\frac{zav}{col}\right]$ $25{,}4 \left[\frac{mm}{col}\right]$
	W colni	$\frac{25{,}4}{z \cdot h_L}$	$z \left[\frac{zav}{col}\right]$ $h_L \left[\frac{mm}{zav}\right]$ $25{,}4 \left[\frac{mm}{col}\right]$	$\frac{g_L}{z}$	$g_L \left[\frac{zav}{col}\right]$ $z \left[\frac{zav}{col}\right]$
	m modulni	$\frac{m \cdot \pi}{h_L}$	$m \left[\frac{mm}{zav}\right]$ $h_L \left[\frac{mm}{zav}\right]$	$\frac{m \cdot \pi \cdot g_L}{25{,}4}$	$m \left[\frac{mm}{zav}\right]$ $g_L \left[\frac{zav}{col}\right]$ $25{,}4 \left[\frac{mm}{col}\right]$

Napomena: m = modul, z = broj navoja 1'' (col).

211.101.2 Alati za rezanje navoja

Alate koji se primjenjuju za izradu vanjskih i unutarnjih navoja raznih profila na univerzalnim tokarilicama, poluautomatima i automatima možemo s obzirom na njihovu konstrukciju podijeliti na normalne, prizmatične i koturaste.

Ti alati mogu biti jednoprofilni i višeprofilni.

Normalnim noževima režemo vanjski i unutrašnji trokutni, trapezni i pravokutni navoj.

Prizmatični noževi služe uglavnom za rezanje vanjskih trokutnih navoja.

Pločasti koturasti noževi služe za rezanje trokutnih i trapeznih navoja, jednostavni su za izradu i omogućuju znatan broj brušenja, pa se mnogo primjenjuju. Pločasti noževi predviđeni su za rezanje vanjskih navoja. Izrađuju se kao nasadni alati i pričvršćuju u specijalne držače.

Višeprofilni i češljasti noževi jesu alati za veću proizvodnost. Najviše se primjenjuju okrugli češljevi, a prizmatični i normalni manje zbog složenosti izrade.

Trapezne navoje izrađujemo pomoću odgovarajućeg profilnog noža. Kad se radi o većem trapeznom profilu, upotrebljavaju se dva noža, od kojih jedan obavlja grubo usijecanje, a drugi završno rezanje.

211.101.3 Glavno vrijeme za izradu navoja

Glavno vrijeme za izradu navoja na univerzalnim tokarskim strojevima ili na tokarilicama s vodećim vretenom određuje se pomoću jednadžbe:

$$t_g = \frac{L}{h \cdot n} \cdot i \cdot z$$

211.101.4 Brzina rezanja pri izradi navoja na tokarilicama

Broj prolaza pri rezanju navoja mjerodavan nam je za točnost. Ako se zahtijeva povećana točnost, potrebno je broj prolaza (obično ga nalazimo u tablicama) povećati za jedan do tri puta i da to budu završni prolazi. Broj okreta glavnog vretena određuje se prema brzini rezanja po formuli:

$$n = \frac{1\,000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad \text{(okr./min)}$$

Za rezanje navoja alatom od brzoreznog čelika, kad je materijal ugljični čelik, brzina rezanja za grubu obradu ne treba da prijeđe 15 m/min, za završnu obradu 10 m/min, dok za legirane čelike brzina rezanja ne treba da je veća od 7 m/min.

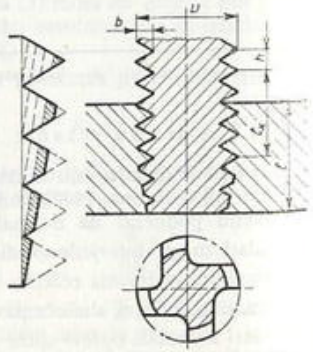
Kad je materijal izrade navoja lijevano željezo, brzina rezanja kreće se od 12 do 16 m/min za meko, a između 8 i 12 m/min za tvrdo lijevano željezo. Mjed omogućuje brzine rezanja do 30 m/min, bronca do 25 m/min, aluminijske legure do 30 m/min. Ako navoj ima izlazni žlijeb, smanjuju se navedene brzine rezanja za 20% da bi se nož mogao pravodobno zaustaviti.

211.102 Izrada navoja na bušilici

Unutrašnji navoji mogu se izrađivati na normalnim specijalnim bušilicama. Alate koje tom prilikom upotrebljavamo zovemo navojna svrdla. Navoje urezujemo u prethodno izbušenim provrtima. Pri izradi navoja s malim provrtima ta je metoda najjednostavnija, najtočnija i najekonomičnija.

Sam postupak izrade izvodi se slično razvrtavanju, samo što je posmik točno određen veličinom uspona navoja ②.

Oblici navojnih svrdla propisani su standardima. Za manje promjere oni se izrađuju sa tri do četiri utora, koji mogu biti ravni i spiralni (s desnom ili lijevom zavojnicom), a za veće promjere imaju šest do osam utora. Takva svrdla imaju prisječeni vrh na velikoj dužini pa se time ukupan presjek strugotine dijeli na velik broj zubaca.



② Princip rada navojnog svrdla

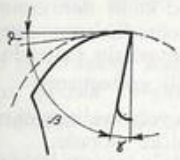
Presjek strugotine. Kad bismo pošli od teoretske pretpostavke da navojno svrdlo ima samo jedan utor, svaki zub skidao bi strugotinu, čija se debljina izračunava na taj način da se čitav presjek zuba podijeli brojem zubi u prisječenom dijelu navojnog svrdla. Na ② to su šrafirane površine na svakom zubu.

Ako svrdlo ima četiri utora, onda svaki od predočenih slojeva strugotine treba još podijeliti na četiri dijela da se dobije stvarna debljina strugotine.

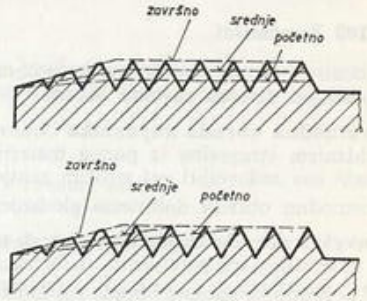
211.102.1 Alati pri izradi navoja na bušilici

Kutovi zubi navojnog svrdla imaju istu geometriju kao i ostali dosad prikazani alati za obradu skidanjem strugotine, što se vidi na ③.

Strojna navojna svrdla razlikuju se po svojoj dužini i po koničnosti prisječenog dijela. Upotrebljava se samo jedno svrdlo koje potpuno izrađuje navoj kao i pri izradi navoja uvrta. Za izradu dubokih navoja najčešće upotrebljavamo po tri navojna svrdla: početno, srednje i završno navojno svrdlo ③.



③ Kutovi zuba urezača



④ Navojna svrdla

Na ④ vidi se da svrdla za izradu navoja možemo izrađivati na dva načina:

1 — tako da je prisječeni dio kod sva tri navojna svrdla iste dužine (u tom slučaju su promjeri navojnih svrdla promjenljivi;

2 — tako da su promjeri navojnih svrdla isti, dok su dužine prisječenog dijela različite ④.

211.102.2 Brzine rezanja i glavno vrijeme pri izradi navoja na bušilici

Za nelegirane konstrukcione čelike s čvrstoćom do 70 kp/mm² kreće se brzina rezanja između 3 i 7 m/min za alat od nelegiranog alatnog čelika, a između 9 i 15 m/min za alat iz brzoreznog čelika, za čelike preko 70 kp/mm² između 2 i 3 m/min, odnosno 5 i 8 m/min. Pri izradi navoja u mekom lijevanom željezu brzina rezanja je 6 do 8 m/min za alate iz alatnog čelika, za alate iz brzoreznog čelika 12 do 16 m/min, a za aluminijske legure 12 do 20, odnosno 20 do 30 m/min.

Glavno vrijeme za izradu navoja uzima se prema formuli:

$$t_g = i \cdot z \cdot \frac{L}{h \cdot n}$$

211.102.3 Sile rezanja

Uvjeti rada pri rezanju navojnim svrdlima drukčiji su nego kod ostalih procesa obrade skidanjem strugotine jer već unaprijed imamo određen primjer, dubinu rezanja i posmik pa se te veličine ne mogu mijenjati. Prema tome, veličina sile rezanja onda ovisi o ovih faktora:

1 — od dužine i oblika prisječenog dijela navojnog svrdla
2 — od kuta prednje površine (oblik utora)
3 — od broja utora
4 — od materijala predmeta
5 — od dubine provrta (prolaznog i neprolaznog).

Pri rezanju navojnim svrdlima aksijalne sile praktično nema pa se u svim proračunima uzima u obzir samo moment torzije.

Moment torzije izračuna se po već poznatoj jednadžbi:

$$M = f_s \cdot A \cdot \frac{D}{20} \quad \text{(kpcm)}$$

211.103 Zupčanici

S obzirom na zahtijevanu kvalitetu obrade razlikuju se pri izradi zupčanika metode prethodne od metoda završne obrade.

Prethodna obrada zupčanika obuhvaća postupke kod kojih dobivamo oblik zubaca skidanjem strugotine iz punog materijala. Kvaliteta koju dobivamo tom obradom ne može nas zadovoljiti pri strožim zahtjevima koji se postavljaju pri radu.

Prethodnu obradu dobivamo glodanjem, blanjanjem ili grebanjem.

Završna obrada zupčanika provodi se kad se zahtijeva veća kvaliteta obrađene površine i uklanjanje temperaturnih deformacija poslije termičke obrade.

U te postupke spadaju obrada zupčanika brušenjem i glačanjem, kao i obrada ljuštenjem.

Ponekad metode prethodne obrade mogu služiti kao metode završne obrade ako se izvrši naknadno rezanje s malom dubinom rezanja.

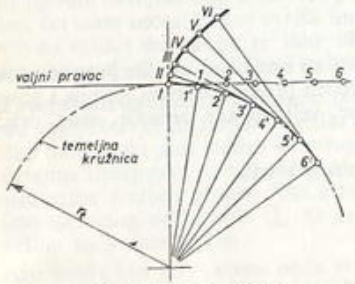
Prema vrsti izrade zupčanika imamo ove metode izrade zupčanika:

1 — metode za izradu cilindričnih zupčanika s ravnim i kosim zubima
2 — metode za izradu koničnih zupčanika
3 — metode za izradu zupčastih letvi
4 — metode za izradu pužnih kola.

Pri izradi zupčanika, bez obzira na to o kojoj se obradi radi, da li o prethodnoj ili o završnoj, izrada zupčanika može se izvesti na dva načina:

1 — postupkom profiliranja
2 — postupkom odvaljivanja.

Postupak profiliranja je postupak kod kojeg je oblik alata isti kao i međuprostori među zubima zupčanika ili se pak mora pomoću neke šablone izvršiti put koji se poklapa s oblikom zuba. Pri tome se profil međuzublja mijenja i pri istom modulu, ali za razne brojeve zubi. Prema tome bi teoretski bilo potrebno, za svaki različiti broj zubi imati i drugo glodalo. U praksi pak imamo situaciju da za svaku određenu oblast brojeva zubi upotrebljavamo jedno isto modulsko glodalo. Za svaki modul postoji određena garnitura glodala, od kojih svako ima svoju određenu oblast broja zubi. Istina, time dolazi do određenih grešaka u obliku zubi pa se i zbog toga postupak profiliranja primjenjuje samo za izradu zupčanika kod kojih se postavljaju manji zahtjevi u pogledu tačnosti.



⑤ Nastanak evolvente

Postupak odvaljivanja je postupak koji se primjenjuje pri izradi zupčanika kad se traži veća tačnost, a tim postupkom se postiže i veća proizvodnost. Primjenjuje se na specijalnim strojevima, a svoje djelovanje zasniva na principu relativnog valjanja između alata i materijala. Tim postupkom normalno izrađujemo evolventne zupčanike, ali se njima mogu izrađivati i drugi oblici, samo u tom slučaju alati više nisu jednostavni.

Suština je odvalnog postupka u predočivanju nastanka evolvente ⑤.

Na ⑤ se vidi da tu imamo nastajanje evolvente na ravnini koja se odvaljuje istodobno s krugom. Kod normalnih zupčanika bez korekcije taj se krug poklapa s diobenim krugom. Ako želimo dobiti evolventni oblik zubi po načinu odvaljivanja, alat mora imati oblik pravca koji je nagnut koso prema pravcu odvaljivanja. Kut koji zatvara pravac alata s okomicom na pravac odvaljivanja identičan je sa zahvatnim kutom ozubljenja. Kao osnovna forma alata za izradu zupčanika može se smatrati zupčasta letva.

211.103.1 Alati pri izradi zupčanika

Alate koje upotrebljavamo za izradu zupčanika možemo svrstati u nekoliko karakterističnih skupina, prema obliku tih alata i njihovoj namjeni. To bi mogle biti ove skupine:

1 — kružni zupčasti noževi
2 — ravni zupčasti noževi
3 — noževi za struganje koničnih zupčanika s ravnim zubima
4 — profilna glodala za glodanje zupčanika
5 — pužna glodala za glodanje zubaca cilindričnih zupčanika.

Kružni zupčasti noževi služe uglavnom za prethodnu obradu, pa ih možemo i podijeliti ovako:

1 — kružni zupčasti noževi prije ljuštenja i
2 — kružni zupčasti noževi za obradu prije brušenja zupčanika.

Tim alatima obavlja se obrada na principu relativnog valjanja. Njima možemo izrađivati ove vrste zupčanika:

1 — cilindrične zupčanike s ravnim zubima, kosim i zavojnim zubima, pri vanjskom ozubljenju
2 — zupčanike s unutrašnjim ozubljenjem
3 — zupčaste segmente i zupčaste poluge
4 — ozubljenje veze s evolventnim profilom zubi.

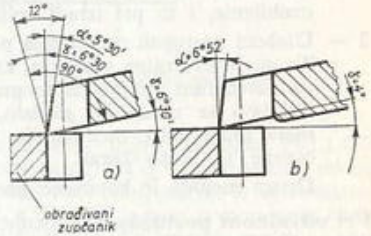
Ravni zupčasti noževi primjenjuju se za izradu cilindričnih zupčanika s ravnim, kosim i zavojnim zubima metodom relativnog valjanja na specijalnim strojevima.

Dijelimo ih na noževe s ravnim i na noževe s kosim zubima.

Noževi s ravnim zubima izrađuju se u dva tipa ⑥.

Noževi tipa I nemaju kut prednje površine već se on dobiva postavljanjem noža na alatni stroj pod kutom od 6° 30′ u odnosu prema ravnini koja je okomita na smjer rezanja.

Noževi tipa II izrađuju se s kutom prednje površine od 4°, a postavljaju se u ravninu koja je okomita na smjer rezanja.



⑥ Noževi s ravnim zubima: a — tip I, b — tip II

Noževi za struganje koničnih zupčanika s ravnim zubima. Ti alati izrađuju se i za završnu i za prethodnu obradu zubi. Noževi za struganje koničnih zupčanika s ravnim zubima izrađuju se po metodi relativnog valjanja, i to u nekoliko tipova. Koji ćemo od tih noževa primijeniti, ovisi o modulu obrađivanog dijela i modulu stroja na kojem se izrađuje zupčanik.

Profilna glodala za izradu zupčanika. U tu skupinu spadaju koturasta i vretenasta glodala, koja se upotrebljavaju za glodanje zupčanika s ravnim, kosim i spiralnim zubima.

Za svaki konkretan slučaj glodanja zupčanika profilnim glodalima potreban je poseban profil glodala u zavisnosti od modula, kuta dodirnice i broja zubi zupčanika. Upotrebljavaju se na ovaj način:

1 — vretenasta profilna glodala služe za glodanje zupčanika s ravnim i kosim zubima modula od 10 do 100 mm, a uglavnom za zupčanike sa zavojim zubima;

2 — koturasta profilna glodala upotrebljavaju se za glodanje nekorigiranih zupčanika, a izrađuju se u garniturama od 8, 15 ili 26 glodala.

Svako glodalo iz garniture služi za glodanje zupčanika određenog modula i određene skupine broja zubi zavisno od toga kolika je točnost potrebna.

Pužna glodala za glodanje zubaca cilindričnih zupčanika. Ta glodala upotrebljavaju se za glodanje zupčanika s ravnim i zavojnim zubima i za izradu pužnih kola.

Pri glodanju zupčanika pužnim glodalom smjer njihova kretanja (misli se na posmično kretanje) može biti:

1 — uzduž osi obrađivanog predmeta (obrada zupčanika s ravnim i sa zavojnim zubima)

2 — radijalno i tangencijalno (obrada pužnih kola).

Prema smjeru posmičnog kretanja glodala se dijele na glodala za radijalno i na glodala za tangencijalno posmično kretanje. Prema načinu stezanja na stroju mogu se podijeliti na nasadna glodala i na pužna glodala s drškom.

211.103.2 Izrada ozubljenja kod čeonih zupčanika

Ozubljenje možemo kod čeonih zupčanika izvršiti na dva načina:

1 — postupkom profiliranja i

2 — odvalnim postupkom.

S obzirom na primijenjene alate i strojeve pri izradi ozubljenja navedenim postupcima moguća je i primjena različitih metoda izrade zupčanika.

Pri postupku profiliranja za svaki modul i za svaki određeni broj zubi trebalo bi da imamo drugi alat. Zbog toga se taj postupak rijetko primjenjuje. Taj način izrade možemo opet dalje podijeliti prema metodama izrade čeonih zupčanika.

1 — Postupci profiliranja koji nisu diobeni. To je metoda pojedinačnog rezanja zubaca. Primjenjuje se na strojevima za grebanje alatom koji ima profil, kao i za unutrašnje ozubljenje, i to pri izradi velikih serija.

2 — Diobeni postupak profiliranja provodi se samo na normalnim alatnim strojevima. To su: univerzalna glodalica, kratkohodna blanjalica i dubilica. Izrada ozubljenja na navedenim strojevima moguća je uz upotrebu diobene glave. Kao alat upotrebljava se modulsko glodalo, kojim se obavlja rezanje međuzublja. Glodalo mora imati oblik međuzublja. Poslije svakog prolaza radnog predmeta ono se okrene za jedan korak.

Druga metoda je kopiranje prema šabloni.

Pri odvalnom postupku ozubljenje se izrađuje na različitim strojevima. Ove možemo razvrstati prema obliku alata koji se upotrebljava za izradu ozubljenja. Tim postupkom izrađuju se zupčanici s evolventnim profilom, i to:

1 — znamo da evolventni profil dobivamo valjanjem pravca po osnovnom krugu time da kraj pravca, koji je u početku dodirivao kružnicu, sada opisuje evolventu;

2 — Maagova brusilica pri bušenju s kutom 0° stvara evolventu na drugi način, tako da se osnovi krug valja po pravcu; taj način zasniva se na tome što je za obradu jednog boka zuba dovoljan alat u obliku jedne točke:

3 — oblik evolvente možemo dobiti i alatom izvedenim u obliku zubne letve; taj način primjenjuje se kod većine naših strojeva. Krug koji valjamo zove se diobeni krug.

Opisano načelo odnosi se na čeone zupčanike s ravnim zubima. Za kosa ozubljenja zubna letva se postavlja koso.

Alati se mogu svrstati u tri skupine, a prema njima su onda svrstani i strojevi. Te tri skupine alata jesu:

1 — alati u obliku češlja

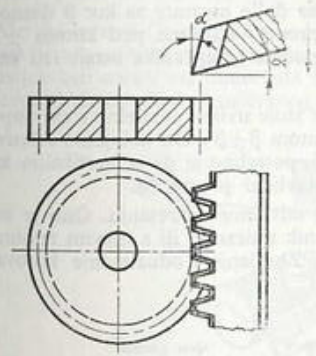
2 — alati u obliku zupčanika i

3 — alati u obliku odvalnog glodala.

Rad alatom u obliku češlja. Ti alati upotrebljavaju se kod najstarijih strojeva SUNDERLAND i MAAG.

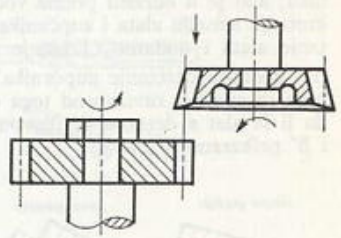
Kod strojeva SUNDERLAND zubna letva se kreće u horizontalnom smjeru, dok je alat kod MAAG-ovih strojeva u obliku zubne letve te obavlja glavno kretanje gore-dolje. Odvalno kretanje obavlja zupčanik s radnim stolom. Zupčanik se primiče do alata, na potrebnu dubinu, a zatim se obavlja odvalno kretanje. Ako je letva duga, a broj zubi koje treba izraditi malen, zupčanik se izrađuje u jednom okretu.

Pri izradi većih zupčanika odvaljivanje se prekida nakon određenog broja zubi. Klizač se zaustavlja u gornjem položaju, a zupčanik se vraća u početni položaj uzdužnim pomicanjem.



⑦ Alat u obliku zubne letve

Za izradu zupčanika s kosim zubima zubna letva se postavlja pod odgovarajućim kutom i s istodobnim okretanjem. U početnom položaju okretanje se zaustavlja, a nastavlja se samo uzdužno kretanje saonica za neki cijeli broj koraka.



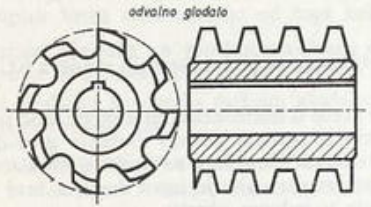
⑧ Alat u obliku zupčanika

Rad alatom u obliku zupčanika. Taj postupak se primjenjuje kod strojeva FELLOWS za čeone zupčanike. Ovdje je alat u obliku profilnog zupčanika ⑧. Pri vanjskom ozubljenju on treba da ima što veći broj zubi. Što je veći broj zubi, zahvat je ravnomjerniji. Alat obavlja glavno kretanje u smjeru svoje osi, a uz to se lagano ravnomjerno okreće. Istom obodnom brzinom okreće se i obrađivani zupčanik. To kretanje izvodi se kontinuirano, a ostvaruje se relativno valjanje alata i radnog predmeta. Radni hod se obavlja obično pri kretanju alata naniže. U početku rada primiče se nosač alata radijalno prema radnom predmetu do određene dubine uz istodobno kretanje alata u vertikalnom smjeru i uz relativno valjanje. To radijalno primicanje može biti izvedeno samo do određene dubine, ovisno o tome da li se predvida samo gruba obrada ili i završna obrada.

Rad alatom u obliku odvalnog glodala. To glodalo primjenjuje se na Pfautereovim strojevima za odvalno glodanje. Po svom geometrijskom obliku odvalno glodalo slično je pužu s jednostepenim trapeznim navojem. Svaki zub tog alata je zupčasta letva, ali su ti profili pomaknuti jedan prema drugome na takav način da je profil svakog zuba

pomaknut za t/z_0 prema prethodnom zubu (t je korak ozubljenja, a z_0 broj zubi glodala). Izradu zupčanika s ravnim zubima vidimo na ⑨.

Glodalo se okreće i time obavlja radno kretanje, koje služi za rezanje. Osim toga alat obavlja posmično kretanje na dolje paralelno sa osi zupčanika. Ovaj se za vrijeme obrade stalno okreće i time izvodi odvalno kretanje, a glodalo skida strugotinu po čitavom obodu zupčanika ravnomjerno. Kada sredina alata dođe ispred donje čeone površine zupčanika, svi njegovi zubi su obrađeni.



⑨ Odvalno glodalo

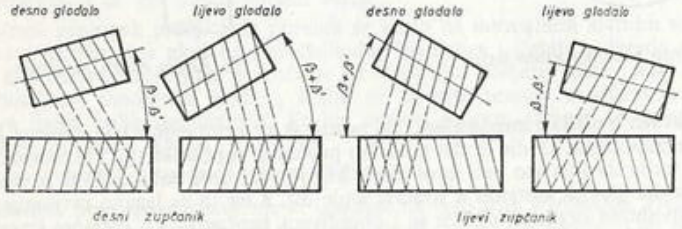
⑩ Vertikalno kretanje alata i dodatno kretanje zupčanika

Odvalno glodanje kosih zubi moguće je na dva načina:

1 — kad su vodice po kojima se kreće glodalo prema dolje nagnute za kut β desno ili lijevo, a samo glodalo nagnuto je u odnosu prema vodicama pod kutom $\pm\beta'$; pri tom načinu odnos između broja okretaja glodala i zupčanika ostaje isti kao i pri izradi zupčanika s ravnim zubima;

2 — kad vodice po kojima se kreće alat prema dolje stoje uvijek paralelno s osi zupčanika; alat je u odnosu prema vodicama pod kutom $\beta\pm\beta'$. Da dobijemo relativno kretanje između alata i zupčanika pod kutom β, potrebno je da se vertikalno kretanje alata i dodatno okretanje zupčanika sastavljaju prema ⑩.

To dodatno okretanje zupčanika pribrojava se odvalnom okretanju. Ono je sada brže ili sporije, zavisno od toga da li je zupčanik s desnim ili s lijevim zubima i da li je alat s desnom ili lijevom zavojnicom. Zbrajanje i oduzimanje kutova β i β′ prikazano je na ⑪.



⑪ Rad odvalnim glodalom

211.11 LEPANJE

Lepanje je postupak fine obrade, pri kojem obrađivani predmet i alat kližu jedan po drugome bez prisilnog vođenja predmeta prema alatu uz stalnu izmjenu smjera kretanja.

Strugotinu s obrađivanog predmeta struže sredstvo za lepanje, koje se postavlja nevezano između predmeta i elementa koji nazivamo alat.

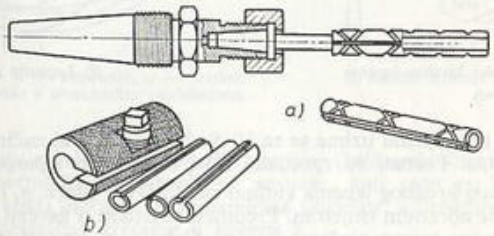
Točnost obrade tim postupkom vrlo je velika, a to nam omogućuje da postignemo željenu kvalitetu obrađene površine i potrebne uske tolerancije. Zatim možemo ukloniti greške u obliku površine koje su posljedica prethodne obrade, npr. neokruglosti, neravnosti ili pak deformacije pri toplinskoj obradi. Osim toga time uklanjamo strukturne promjene koje nastaju na površini termički obrađenih materijala uslijed zagrijavanja pri brušenju. Taj pokvareni sloj, koji je veoma tanak (ponekad tanji od 0,001 mm), može se ukloniti samo lepanjem ili pak superfinišem. Pri tim postupcima površina se ne zagrijava ponovno. Iz tog razloga je kod lepanih osovima trošenje mnogo manje nego kod brušenih.

Kao sredstvo za lepanje upotrebljavamo prije svega kromov oksid, kromovu prašinu i, za specijalne zahtjeve, dijamantnu prašinu. Ta sredstva miješana su s uljem (mineralnim, biljnim i životinjskim), petrolejem, mašću, benzolom itd. Tako pripremljenu pastu za lepanje treba svaki put prilagoditi obrađivanom materijalu, obodnoj brzini i zahtjevima kvalitete.

Pasta za lepanje stvara između obrađivanog predmeta i alata tekućinski film, u kojem se pojedina zrnca okreću, a neka od njih se zaljepljuju za površine. U toku obrade ta se zrnca sve više smanjuju. Gruba zrnca skidaju u početku relativno grubu strugotinu pa se zbog usitnjavanja zrna može postići prilično dobra kvaliteta površine. Što su zrna sitnija, to je veća kvaliteta, do najviše zahtijevane glatkoće.

211.111 Alati za lepanje

Alati za lepanje ① izrađeni su od različitih metala, najčešće od sivog liva. Osim toga upotrebljavaju se bakar i njegove legure, bijeli metal, antimon i olovo. Materijal alata mora uvijek biti mekši od materijala obrađivanog predmeta. Pri obradi lepanjem alat mora izvoditi na površini obrađivanog predmeta neki pritisak pa se pri tome pojedina zrnca



① Alat za lepanje: a — za provrte, b — za cilindre

sredstva za lepanje upršavaju u površinu alata i predmeta. Ako je alat mekši od obrađivanog predmeta, više pojedinih zrna zalijepit će se za alat nego za predmet pa se pri tom skida više materijala s površine obrađivanog predmeta nego s površine alata. Pravilnim izborom materijala i alata može se postići malo trošenje alata, a time i velika točnost obrade.

Lepanjem se bez teškoća izrađuju predmeti kod kojih paralelnost površine iznosi $\pm$0,001 mm, a tolerancija debljine $\pm$0,005 mm. Specijalno pažljivom obradom postižu se površine s hrapavošću do 0,000 2 mm.

Za lepanje uzima se dodatak od 0,1 do 0,02 mm ako želimo postići samo bolju kvalitetu površine, a najmanje 0,02 mm ako je potrebno da se još dodatno ispravlja oblik predmeta Uvijek se prvo lepuju grubim zrnima, a zatim finima. Pri prijelazu na manju krupnoću zrna dobro je predmet i alat dobro očistiti od ostataka grubog sredstva za lepanje. Sasvim na kraju, ako želimo postići najbolju kvalitetu površine, ne dodajemo više sredstvo za lepanje, nego samo čisto ulje.

211.112 Podjela lepanja

Lepanje možemo podijeliti ovako:

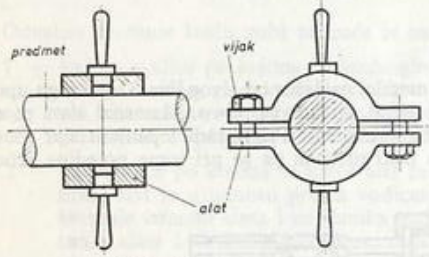
1 — vanjsko kružno lepanje
2 — unutrašnje kružno lepanje
3 — ravno lepanje.

Vanjsko kružno lepanje izvodi se na dva načina:

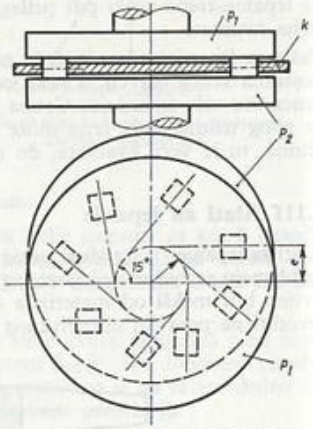
1 — kad alat ima oblik ležaja, a predmet predstavlja osovinu koja se okreće u tom ležaju i istodobno pomiče u uzdužnom smjeru ②

2 — lepanje između dviju ploča koje se okreću jedna prema drugoj ③.

Prvi način vanjskog kružnog lepanja primjenjuje se za obradu većih predmeta, npr. osovina, rukavaca i sl.



② Vanjsko kružno lepanje



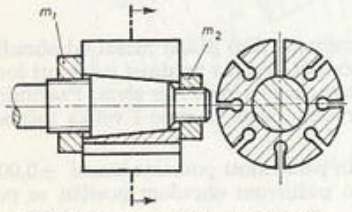
③ Lepanje između ploča

Brzina lepanja pri tom načinu uzima se sa 10 do 20 m/min. Taj način izvodi se ručno na tokarskim strojevima. Poznati su specijalni alati za vanjsko lepanje na strojevima.

Drugi način vanjskog kružnog lepanja vidimo na ③. Dvije ploče, p_1 i p_2, okreću se jedna prema drugoj, dakle obratnim smjerom. Predmeti se nalaze u kavezu k, koji je postavljen ekscentrično u odnosu prema pločama p_1 i p_2. Osim toga provrti u kavezu postavljeni su tangencijalno pod kutom od 15°. Zbog toga se predmeti okreću i istodobno kližu po površinama ploča p_1 i p_2.

Sredstva za lepanje (kromov oksid ili neko drugo sredstvo) dovode se među ploče uljem ili petrolejem.

Pri tom načinu uzima se brzina lepanja od 6 do 30 m/min.



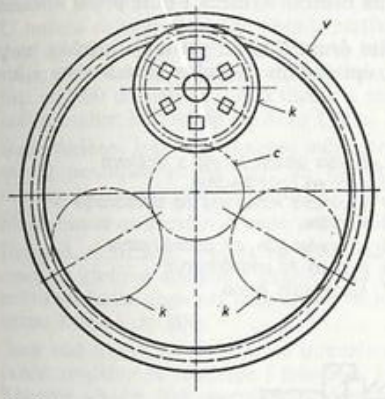
④ Trn za unutarnje kružno lepanje

Unutrašnje kružno lepanje izvodimo specijalnim trnovima ④. Na konični dio trna nataknemo puškicu. Ona je zasječena na više mjesta (obično s kosim utorima), a na jednom mjestu je presječena. Provrt puškice je konusan i služi za stezanje na trn, na kojem se može pomicati u aksijalnom smjeru pomoću dviju matica, m_1 i m_2. Na taj način podešava se njezin promjer. Stablo s vezano je za držak Morse-konusa preko kardanskog zgloba da bi se alat mogao podešavati prema provrtu predmeta.

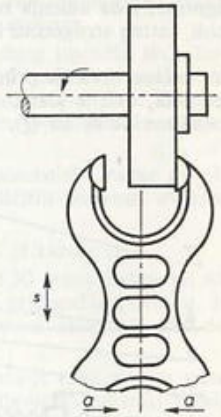
Pri unutrašnjem kružnom lepanju alat izvodi samo kružno kretanje i uz to još uzdužno pomicanje gore-dolje. Specijalan oblik kružnog lepanja je lepanje kuglica, koje izvodimo između dviju ploča na sličan način kao i obično vanjsko kružno lepanje.

Ravno lepanje samo jedne površine izvodi se obično na jednoj ravnoj ploči, koja se okreće. Predmet se pritiskuje na ploču ručno, a ponekad se oslanja i na dodatni oslonac. Pri ravnom lepanju dviju paralelnih vanjskih površina primjenjuje se isti način kao i za vanjsko kružno lepanje sa dvije paralelne ploče. Često se upotrebljavaju kavezi k, koji su izrađeni kao zupčanici ⑤ te istodobno unutrašnjim zubima zahvaćaju centralni zupčanik c i zupčanikov vijenac v. Ako se centralni zupčanik okreće zajedno s donjom pločom, a vijenac v stoji, kavezi k obavljaju ravno kretanje.

Tu se uzima brzina lepanja od 6 do 30 m/min, a specifičan pritisak je 2 do 6 kp/mm².



⑤ Plošno lepanje: a — zupčanik, c — srednji zupčanik, v — vijenac s unutarnjim ozubljenjem



⑥ Ravno lepanje paralelnih unutarnjih površina

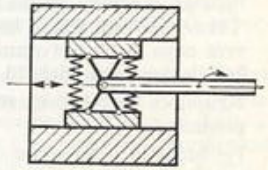
Pri ravnom lepanju paralelnih unutarnjih površina (kalibarske čeljusti i slični instrumenti za mjerenja) upotrebljavamo specijalne strojeve, koji rade po principu prikazanom na ⑥. Kao alat kruži ploča sa dvije paralelne površine, a predmet se nalazi na radnom stolu i obavlja posmično kretanje u pravcu s.

211.12 HONANJE

Honanje je poseban način finog obradivanja provrta s čvrstim brusnim sredstvom u obliku turpija usađenih u posebnom alatu. Pri tom postupku ne postoji više čvrsta veza alata s radnim vretenom. Položaj provrta ne određuju alat i vreteno, već sam provrt vodi alat. Prema tome, taj postupak nam služi za fino dotjerivanje površina. Najviše se upotrebljava kao postupak završne obrade stijenki cilindara motora s unutarnjim izgaranjem.

Poznata su dva različita principa rada pri honanju.

Princip starijeg načina honanja prikazan je na ①. Kao alat uzimamo posebne klizače veličine 20 do 300 mm. Veće klizače lako zamijenimo po njihovu opsegu dijelo-

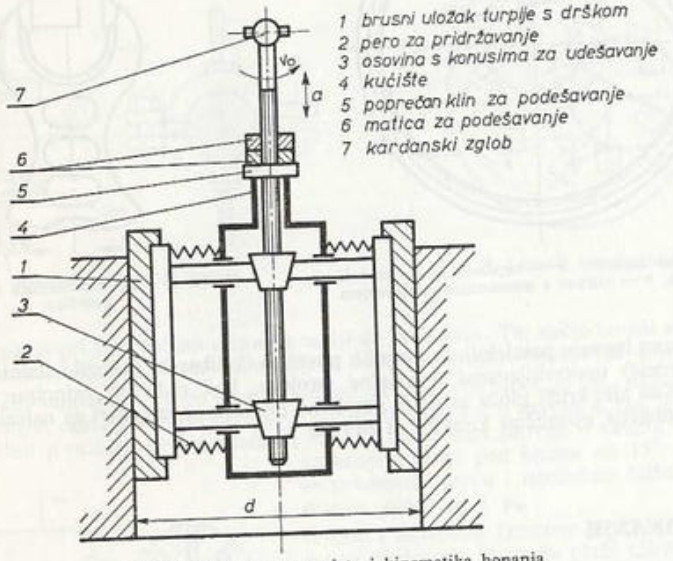


① Honanje

vima 4 do 20 mm. Na klizače zalijepimo 3 do 10 brusnih kamena s finim zrnom i keramičkim vezivom ili vezivom iz umjetne smole (JUS K. F1.080). Alat izvodi kružno kretanje brzinom od 10 do 20 m/s, koja je manja od brzina primijenjenih pri brušenju. Istodobno alat izvodi aksijalni posmik brzinom 16 do 20 m/min, koji je veći od posmika pri brušenju.

Daljnja je razlika između brušenja i honanja i u tome što pri brušenju brusna ploča dodiruje predmet u jednoj liniji, dok pri honanju imamo dodir alata i predmeta na površini, koja iznosi približno jednu trećinu površine obrade. Zbog manje brzine nastupaju na površini obrade manje temperature nego pri brušenju. One mogu iznositi od 55 do 170°C. Da se ne pojave veće temperature, potrebno je intenzivno hlađenje rijetkim uljem (9,7 cSt = 1,8° E kod 50°C) ili petrolejem. Rashladno sredstvo ima uz to zadatak da između alata i obrađivanog predmeta stvara uljni film, koji sprečava suviše brzo skidanje strugotine, i da uklanja nastalu strugotinu. Tekućinu je potrebno dobro filtrirati da ne donosi natrag strugotinu ili istrošena zrna brusnih kamena i time oštetiti obrađenu površinu.

Pri novijem načinu honanja primjenjuje se nešto drukčiji način stvaranja pritiska na površinu predmeta, dok je alat u načelu jednak opisanomu. Načelna shema alata i kinematika honanja vide se na ②.



② Principijelna shema alata i kinematika honanja

Na slici se vidi da se pritisak proizvodi pod djelovanjem konusa (3). Ti se konusi skupljaju pri okretanju centralnog vijka i djeluju preko pločica na brusni uložak s drškom (1). Takav alat radi slično kao i podešljivi razvrtač i omogućuje mnogo točniju obradu provrta nego alat s oprugama. Tako, na primjer, alat s oprugama ne može ispraviti provrt koji je konusan, dok to novi oblik alata omogućava.

Krupnoća zrna brusa zavisna je od kvalitete površine koju želimo postići i od materijala predmeta.

Pri honanju je predmet čvrsto pričvršćen na radni stol, dok je alat preko kardana tako spojen s vretenom stroja da se može sam centrirati prema provrtu predmeta.

Aksijalno pomicanje alata podešava se tako da je alat u krajnjim položajima izvan dužine provrta za jednu petinu do jedne trećine. Dodatak za obradu pri honanju uzima se od 0,05 do 0,1 mm u promjeru. Prosječno se postiže točnost od 0,01 mm. Obrađena površina prilično je glatka, ali ima mutan sjaj.

211.13 SUPERFINIŠ

Superfiniš spada u najfinije poznate mehaničke obrade i može se smatrati kao daljnji stupanj honanja. Kvaliteta površine još je bolja nego pri ovome postupku.

Najbitnija je karakteristika tog načina obrade da se obrađivani predmet za vrijeme obrade praktički ne zagrijava. Prema tome, površina predmeta ne mijenja svoja mehanička svojstva koja je dobila prethodnom obradom. Zbog mjestimičnog zagrijavanja materijal pri brušenju na svojoj površini gubi mehanička svojstva.

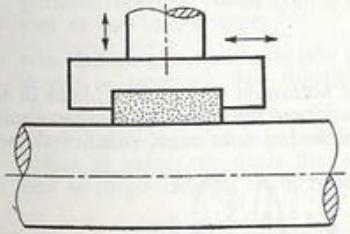
U načelu se superfiniš kao obrada razlikuje od prethodnog honanja time što se uz određeni pritisak osnovnoj translatornoj kretnji dodaju još male superponirane oscilacije u smjeru okomitom na prethodnu obradu, odnosno u smjeru posmika. Te oscilacije mogu biti od 200 do najviše 3 000 titraja u minuti, već prema postupku i uređaju s odgovarajućim malim hodovima od 6 do 1 mm.

Superfinišem lako obrađujemo valjčaste (vanjske i unutarnje) i ravne površine. Najviše se taj postupak primjenjuje za vanjsku obradu različitih osovina, svornjaka, klipova motora s unutarnjim izgaranjem itd.

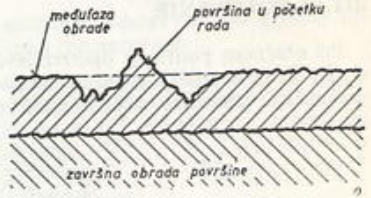
Najjednostavniji način obrade superfinišem shematski prikazuje ①.

Brusovi, tj. brusne pločice najveće praktične širine od 30 mm i dužine od 40 do 80 mm, opet su gibljivo spojene s držačem da bi se što bolje prilagodile površini. Brusna zrnca nešto su finija nego pri honanju te se uglavnom kreću od krupnoće 280 do 600, a izuzetno finija i do 800.

Sam rad uvijek se obavlja uz intenzivno hlađenje. Isto je tako veoma važan i pravilan izbor sredstva za hlađenje i mazanje. Pri tome je najbolje primijeniti specijalno ulje za honanje s kojih 30% petroleja ili petroleja sa 10 do 20% mineralnog ulja 4° do 5° E. Tu mješavinu s potrebnim viskozitetom potrebno je pripremiti prema konkretnom slučaju.



① Superfiniš

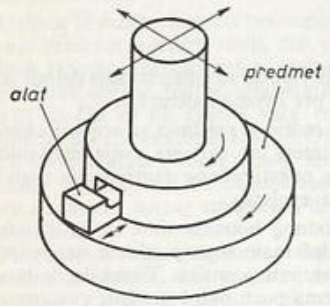


② Faze rada pri superfinišu

Superfiniš se može obavljati na tokarilici pomoću dodatnog agregata za superfiniš ili na specijalnim strojevima, koji su veoma slični brusilicama za kružno brušenje, samo što se na njima umjesto vreteništa s brusnom pločom nalazi specijalan agregat za superfiniš.

Oštrice pojedinih zrna prvo skidaju vrhove s površine obrađivanog predmeta. Ta prva faza rada odvija se brzo jer je površina dodira veoma malena pa je prema tome specifičan pritisak velik. Poslije te prve faze površina dodira se povećava ②, proces skidanja materijala postaje sporiji zbog manjeg specifičnog pritiska i istodobnog zatupljivanja alata. Osim toga, između alata i površine predmeta nalazi se tekući film. Što je manji

specifičan pritisak alata na površinu obrade, pojedina zrna teže prodiru kroz taj film te manji broj zrna dolazi u dodir s predmetom. Na kraju rada površina predmeta je već tako ujednačena da tekući film potpuno nosi alat te pri daljnjem radu više ne dolazi do skidanja materijala ma koliko da produžujemo vrijeme obrade.



③ Shematski prikaz strojnog honanja

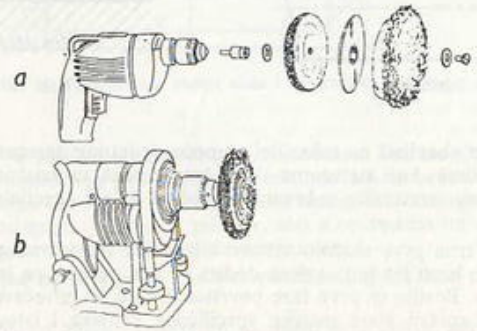
Pri usavršenijim načinima superfiniša relativno kretanje alata prema predmetu sastavlja se od više komponenata. Tako pri obradi ravnih površina alat može obavljati oscilirajuće i kružno kretanje, i to na takav način da izvodi dvije oscilacije u dva okomita smjera s različitim amplitudama i frekvencijama. Osim toga, slično kretanje obavlja i predmet, samo kod njega osciliraju opet druge amplitude i frekvencije ③. Smatra se da taj način omogućava najravnomjerniju obradu površine jer pojedino zrno alata praktično samo jedanput dolazi u dodir s nekom točkom predmeta. Najpovoljnijom brzinom okretanja predmeta smatra se brzina oko 20 m/min. S povećanjem brzine smanjuje se skidanje materijala, ali se povećava kvaliteta obrade. Prema tome, za grubu obradu radi se prvo s manjim brzinama pa se poslije, prema kraju, ta brzina povećava na 20 do 25 m/min.

Prethodna obrada ne smije biti suviše fina U praksi se kao najpovoljnije preporučuju površine s hrapavošću od 4 do 5 μm.

Krupnoća zrna alata uzima se u zavisnosti od promjera predmeta. Pri većim promjerima može se uzeti veće, pa i krupnije kamene. U prosjeku se uzima zrno od 400, ali se upotrebljava i ono krupnoće od 120 do 1 000. Finije zrno ipak ne dovodi uvijek do boljih rezultata obrade. Za obradu čelika upotrebljava se kamenje od korunda, a za ostale materijale ono od silicijeva karbida, tvrdoće *G* ili *H*. Pritisak alata na predmet izvodi specijalan agregat za superfiniš pomoću opruge, hidraulično ili komprimiranim zrakom. Kao srednji pritisak uzima se onaj od 2,5 kp/mm². Tim postupkom može se postići hrapavost površine od 0,2 do 0,5 μm.

211.14 POLIRANJE

Pri običnom poliranju upotrebljavamo kao alat koture od pusta (filca), kože ili tekstila ①. Na njih nanosimo specijalne paste za poliranje, sastavljene od izvanredno sitnih zrna različitih sredstava za brušenje i veziva, koje može biti neka mast, stearin i slično. Koture se pri radu brzo okreću (obično su pričvršćeni direktno na osovinu elektro-motora), a predmet potiskuje radnik, najčešće ručno, na površinu kotura. Svrha je poliranja obično fin vanjski izgled površine, a ne točnost oblika.



① Uređaj i alat za poliranje: a — prenosiv, b — neprenosiv

Elektrolitsko poliranje ne može se više smatrati kao obrada skidanjem strugotine, ali ga u novije vrijeme ponekad zamjenjuje obično poliranje. Vjerojatno će ubuduće imati još veće značenje, a možda će čak i zamijeniti ostale postupke fine obrade. Pri tom postupku obrade predmet se nalazi u elektrolitskoj tekućini, a električna struja skida pojedine djeliće s površine predmeta i na taj način poboljšava kvalitetu površine. Dodatak za poliranje je izvanredno malen, od 0,005 do 0,007 mm.

211.15 RUČNE OBRADE

211.151 Uvod

U maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji dijelove obrađujemo na univerzalnim strojevima i vrlo rijetko primjenjujemo specijalne naprave. Kontrola se provodi pomoću univerzalnih mjerila, koja uvijek ne garantiraju traženu mjernu točnost. Zbog toga moramo neke dijelove, pa i sklopove u pripremi ili u predmontaži dotjerivati ručno ili mehanički da određeni spoj postigne nužnu točnost. Ponekad su dijelovi konstruktivno komplicirano izvedeni, zato neke operacije ne možemo izvesti u strojnoj obradi, nego ih obrađujemo ručno. Činjenica je da u procesu sastavljanja strojeva ručna obrada još i danas sudjeluje sa 70% ukupnog vremena. Najčešće se primjenjuju ove ručne obrade: sječenje, turpijanje, brušenje, lepanje, poliranje, grecanje, bušenje, zavrtavanje, grebanje i savijački radovi. Neke od tih radova već smo opisali, pa ih ovdje nećemo ponavljati.

211.152 Turpijanje i brušenje

Karakteristični primjeri turpijanja jesu:

1 — turpijanje dijelova radi odstranjivanja valovitosti, hrapavosti i izdanaka formiranih prilikom lijevanja; poslije grubog ovdje predviđamo ponekad i fino turpijanje turpijom za fino dotjerivanje;

2 — tehnološkim procesom montaže predviđeno skidanje dodatka; nakon grubog redovito se propisuje fino turpijanje ili brušenje (poravnavanje);

3 — otklanjanje oštećenja na površinama dijelova (otučena mjesta, ogrebotine), ako je takav način dotjerivanja prema tehničkim uvjetima dopušten. U tom slučaju površina se nakon turpijanja fino dotjeruje. Ako se radi o neznatnim oštećenjima, ona se mogu ukloniti finim brušenjem (glačanjem).

U praksi susrećemo ove osnovne vrste poslova pri turpijanju:

1 — turpijanje površine u obliku ploče ili dijelova četverokutnih presjeka (dotjerivanje klina, dotjerivanje oštećene matice i sl.)

2 — turpijanje složenijih površina (skidanje faze-kosine-uzduž profila pozicije)

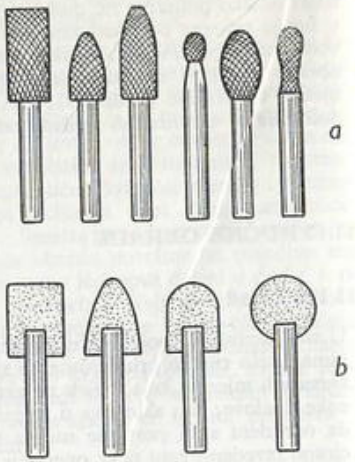
3 — turpijanje udubljenja, utora i upuštenja (dotjerivanje utora pozicije prema klinu).

Grubim turpijanjem skidamo debljine iznad 0,2 mm. Finim brušenjem (glačanjem) skidamo debljinu metala rijetko deblju od 0,1 mm. Pri toj obradi moguće je postići točnost mjere i do 0,005 mm. Mehanizacija radova turpijanja i brušenja ostvarena je primjenom

prijenosnih uređaja koji posjeduju fleksibilne osovine ①. Postoje još električni i pneumatski uređaji koji imaju translatorno gibanje.

Na navedenim uređajima upotrebljava se specijalan alat prikazan na ②.

① Univerzalni ručni strojevi za turpijanje i brušenje

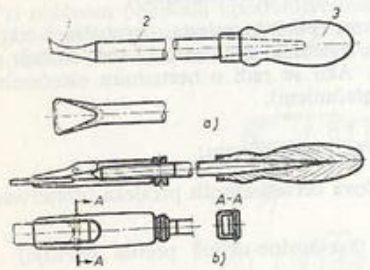


② Specijalni alati: a — turpije, b — brusovi

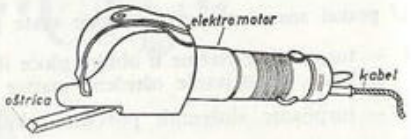
211.153 Grecanje

U procesu montaže grecanjem poravnavamo ravne klizne staze, cilindrične i konične klizne ležaje, puškice i sl. sa svrhom da se dobiju točni oblici površina i njihovih mjera. Grecanjem se dotjeruju jedino površine koje su prethodno obrađivane reznim alatom. Alat koji se upotrebljava pri toj operaciji zovemo grecalo ③. Ručno grecalo sastoji se: (1) od oštrice, (2) od držača i (3) od ručke, kao što je prikazano na ③a. Da se uštedi na skupom alatnom čeliku ili još skupljem tvrdom metalu, izrađuju se grecala s mehaničkim stezanjem rezne pločice ③b gdje se držač sa stezačem izrađuje od običnog ugljičnog čelika.

Ručno grecanje je dugotrajan i težak fizički posao. Danas postoje mehanizirana grecala kojima je omogućeno translatorno gibanje pneumatskim ili električnim pogonom. Na ④ prikazano je električno grecalo.



③ Ručna grecala



④ Električno grecalo

Dodaci za obradu pri grecanju kreću se u rasponu od 0,05 do 0,50 mm, a definiraju se prema veličini obrađivane površine i točnosti koju treba da postignemo. Veličine dodataka prikazane su u tablicama 1. i 2.

Dodatak za obradu površina Tablica 1.

Širina površine (mm) \ Dužina površine (mm)	Dodatak za obradu pri grecanju (mm)				
	100—500	500—1 000	1 000—2 000	2 000—4 000	4 000—6 000
Do 100	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
100 do 500	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
500 do 1 000	0,18	0,25	0,35	0,45	0,50

Dodatak za obradu provrta Tablica 2.

Promjer provrta (mm) \ Dužina provrta (mm)	Dodatak za obradu pri grecanju (mm)		
	do 100	100—200	200—300
do 80	0,03	0,05	0,10
80—180	0,05	0,10	0,15
180—360	0,10	0,15	0,20

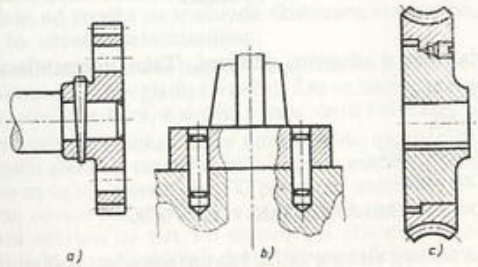
Uspješnost grecanja kontroliramo tuširanjem. Ako treba da grecamo ravnu plohu, uzmemo prvo tušir-ploču izrađenu od sivog liva, premažemo je tanko plavom tušir-bojom, položimo je na plohu koju treba obraditi pa gibamo tušir-ploču horizontalno na sve strane. Odmaknemo li ploču, na dodirnim mjestima obrađivane plohe ostat će mrlje. Njih grecamo. Postupak ponavljamo više puta dok konačno ne dobijemo zadovoljavajuće nalijeganje obrađivane plohe tušir-pločom. Postoji klasifikacija grecanja, koja je definirana brojem mrlja na površini 25 × 25 mm. Prva klasa grecanja daje 25 mrlja, a druga do 10 mrlja na površini od 25 × 25 mm.

211.154 Bušenje rupa

Bušenje rupa po pravilu treba da izvršimo u strojnoj obradi. Taj posao se obavlja i u procesu montaže:

1 — kada dvije ili više pozicija moraju zajedno biti bušene, a preko njih se u montaži ostvaruje spoj ⑤a;

2 — kad je mjesto bušenja nepristupačno ⑤b za bušilicu u strojnoj obradi, a rupa ima mali promjer (to u montaži lako obradimo električnom bušilicom);



⑤ Spojevi kod kojih se rupe moraju bušiti u montaži

3 — kad su rupe malenog promjera, a iza bušenja slijede još neke ručne operacije ⑤c (rezanje navoja, postavljanje zakovica);

4 — kad bušenje nije predvideno u strojnoj obradi, a dio treba da bušimo mada to odstupa od već postavljenog procesa izrade (npr. stavljanje čepa za čepljenje rupe koja je nastala od poroznog dijela stijenke odljevka, koji inače udovoljava tehničkim uvjetima).

Za rupe do 12 mm promjera upotrebljavamo ručne ili stolne prenosive bušilice. Ručne bušilice mogu biti s električnim ili s pneumatskim pogonom. Za bušenje većih rupa treba predvidjeti stupnu bušilicu.

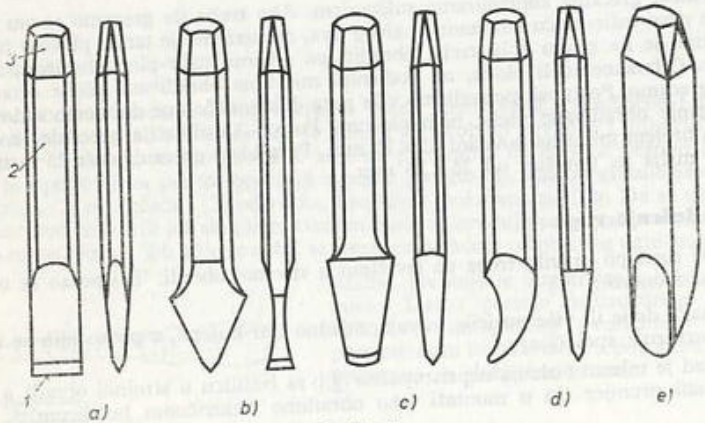
211.155 Sječenje sjekačima

Sjekače upotrebljavamo pri plastičnoj obradi (npr. u kovačnicama), zatim pri čišćenju uliva, te pri obradi skidanjem stugotine za obradu čeličnih dijelova, za sječenje glava pri zakivanom spoju itd.

Potrebnu silu za skidanje strugotine proizvodimo udaranjem čekića po glavi sjekača.

Na sjekaču razlikujemo ⑥:

1 — rezni rub (1)
2 — držak (2)
3 — glavu (3).



⑥ Sjekači

Oblik sjekača zavisan je o njegovoj namjeni. Tako upotrebljavamo:

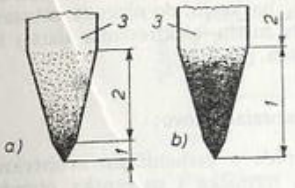
1 — plosnati sjekač ⑥a
2 — križni sjekač ⑥b
3 — pločevinski sjekač ⑥c
4 — sjekač za utore ⑥d
5 — šuplji sjekač — za naknadnu obradu varova ⑥e.

Sjekač je izraden od žilavog alatnog čelika i zatim obraden. Kaljen i popušten mu je samo rezni rub. Pri tome treba paziti da prijelaz tvrdoće na reznom rubu bude postepen.

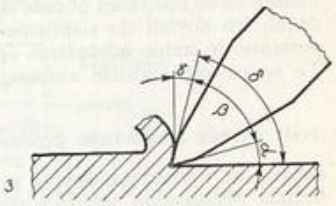
Tvrdoća reznog ruba mora se polagano smanjivati prema dršku. To možemo vrlo lijepo vidjeti na ⑦.

Na ⑦ imamo: a) pravilno i
b) nepravilno kaljen rezni rub.

Oznake: 1 — zona velike tvrdoće
2 — prijelazna zona
3 — meka zona.



⑦ Tvrdoća na reznom rubu



⑧ Kutovi sjekača

Kod nepravilno kaljenog reznog ruba prijelazna zona gotovo ne postoji. Granica između tvrde zone (1) i meke zone (3) je oštra.

Kutove na reznom rubu prikazuje ⑧.

Kut oštrenja (klina) uzima se prema vrsti materijala:

— za meke materijale od 20 do 60°
— za čelike s čvrstoćom do 85 kp/mm² 50 do 60°
— za vrlo tvrde materijale 60 do 70°.

Slobodni kut α i kut prednje površine γ obradujemo položajem sjekača. Te kutove radnik mora odrediti osjećajem.

211.16 SPECIJALNE VRSTE OBRADE

Pod tim nazivom spomenut ćemo one vrste koje su već relativno proširene u pogonima i koje su prošle svoju eksperimentalnu fazu razvoja: elektroerozija, anodno-mehaničko brušenje, elektrokemijska obrada i obrada ultrazvukom.

Treba ukratko opisati nastanak i način rada specijalnih vrsta obrade.

Osnova konvencionalne mehaničke obrade sastoji se u tome što se alat utiskuje stanovitom silom u izradak te tako dobiva traženi oblik i dimenzija izratka. Ako se pri tom procesu obrade čestice odvajaju od izratka to je obrada skidanjem strugotine, a ako se samo mijenja oblik, onda je to obrada deformacijom.

U oba slučaja konvencionalna obrada moguća je samo ako je alat boljih mehaničkih svojstava od izratka (prvenstveno u pogledu tvrdoće). Što su bolja mehanička svojstva izratka, to bolja moraju biti i svojstva alata, a u vezi s time rastu i sile koje se javljaju pri obradi.

Takvo takmičenje u kvaliteti izratka i alata dovelo je do mogućnosti obrade zakaljenih i legiranih čelika pomoću alata od tvrdih metala i sinter-metala. Međutim, i alat treba obraditi i od njega treba za to imati tvrdi alat. Ti problemi vezani još uz pojavu novih metala i legura u mehaničkoj obradi doveli su do razvoja takvih metoda obrade pri kojima se ne postavljaju dosadašnji zahtjevi na alat, on ne provodi obradu pod silom. Alat se kod tih vrsta obrade pojavljuje kao nosač oblika i dimenzije za radni proces, dok sam rad obavlja električna energija, odnosno kinetička energija pri ultrazvuku.

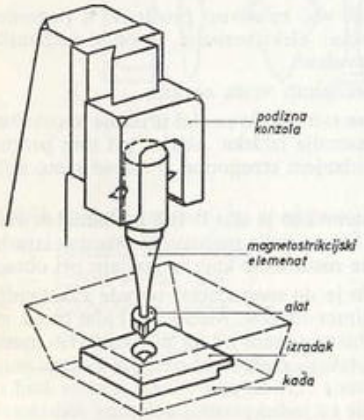
Neke karakteristike tih vrsta obrade jesu:

- sam proces obrade odvija se u tekućoj sredini, rijetko u plinovitoj, radi usmjerenog vođenja električne energije, odnosno davanja kinetičke energije zrncima abraziva;
- alat i izradak tokom procesa nisu po pravilu u dodiru pa izostaju sile obrade; eventualne sile rezultat su strujanja tekućeg međuelektrodnog sredstva; mehanička svojstva alata ne igraju primarnu ulogu;
- budući da se procesom obrade skida materijal, a time i povećava zazor među elektrodama, što dovodi do slabljenja procesa rada i, na kraju, do njegova zaustavljanja, potrebno je stalno održavanje optimalnog zazora među elektrodama alata i izratka. To se najčešće postiže automatskom regulacijom.

Te vrste obrade imaju neke prednosti, od kojih nabrajamo ove:

- neovisnost brzine, kvalitete i proizvodnosti obrade o mehaničkim svojstvima materijala obrađivanih izradaka (tvrdoća, krutost, termička i galvanska obrada itd.)
- mogućnost obrade tvrdih materijala mekanim alatima (tvrdi metal pomoću bakra ili aluminija)
- mogućnost izvođenja niza operacija koje se ne mogu izvršiti konvencionalnim metodama, npr. izrada reljefnih otisaka, zakrivljenih površina u punom itd.
- promjena oblika, odnosno obrada ne mijenja postojeća površinska svojstva izratka, a moguće je izvođenje lokalne obrade na izratku velikih gabarita bez velikih strojeva
- pravilno odabranim režimima rada moguća je visoka ekonomičnost i proizvodnost takvih vrsta obrade.
- mogućnost uključivanja u protočnu proizvodnju, mogućnost mehanizacije i automatizacije.

211.161 Ultrazvučna brusilica izrađena je tako da alat vibrira ultrazvučnom frekvencijom (oko 20 000 Hz) u smjeru vertikalne osi ①.



① Prikaz rada ultrazvučne bušilice

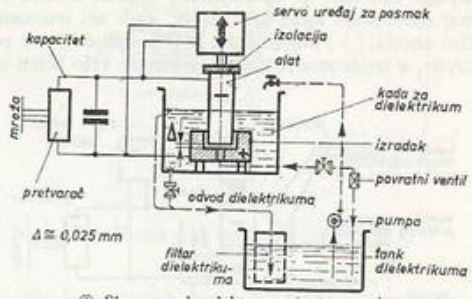
Izradak i alat nalaze se potopljeni u kadi, u kojoj je abrazivna tekućina (obično voda + abrazivna zrnca). Vibriranje dobiva alat od specijalnog magnetostrikcijskog elementa smještenog na podiznoj konzoli. Njime on predaje kinetičku energiju abrazivnim zrncima u tekućini pa zrnca, udarajući visokom energijom o obrađivanu površinu, izbijaju iz nje čestice materijala izratka. Kao abraziv služe zrnca korunda. Materijal alata ne mora imati veću tvrdoću od izratka i ne mora biti električki vodljiv. Obrada ultrazvukom može se primijeniti kod bilo koje tvrdoće materijala izratka a omogućava postizavanje visoke točnosti i kvalitete površine obrade.

Najčešće se primjenjuje pri obradi elemenata iz poluvodiča u elektronici, za sječenje tvrdih kristala itd.

U općoj strojogradnji nije se taj postupak znatnije proširio.

211.162 Elektroerozivni strojevi su najrasprostranjeniji oblik specijalne vrste obrade. Shema na ② prikazuje nam način rada.

Izratku i alatu smještenima u kadi s dielektrikumom dovodimo istosmjerni napon tako da elektroda alata ima (−) pol, a elektroda izratka (+) pol. Pri približavanju elektroda nakon dostizanja stanovitog zazora između njih preskakuju električne iskre i one izbijaju čestice metala izratka.



② Shema rada elektroerozivnog stroja

Tokom procesa obrade elektroda-alat pomiče se u elektrodu-izradak onoliko koliko se ona troši, zadržavajući pri tome stalan razmak i održavajući proces iskrenja u toku.

Prigonu posmika elektrode-alata dolaze povratnom vezom signali upravljanja kao funkcija napona iskrenja. Što je zazor među elektrodama veći, veći je i napon iskrenja.

Treba napomenuti da se ovdje ne troši samo izradak već i elektroda-alat, iako mnogo manje. Koliko će se trošiti alat, ovisi o materijalu elektrode-alata i izratka, o generatoru kojim se postiže iskrenje, o ispiranju dielektrikumom itd. Odnos elektrode-alata prema izratku kreće se od 1 : 1 do $\frac{1}{100}$: 1.

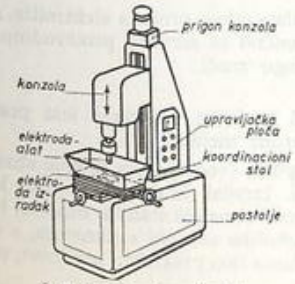
Kao materijal elektrode-alata najčešće se upotrebljavaju elektrolitski bakar, mjed, grafit ili specijalni sinter-materijali za elektrode.

Obrada elektroerozijom omogućava provođenje procesa obrade materijala proizvoljne tvrdoće uz uvjet da je vodič električne struje. Osim za bušenje provrta i uvrta tom obradom mogu se odslikavati ukovnji, matrice, kokile i slični alati prostorno složenih površina.

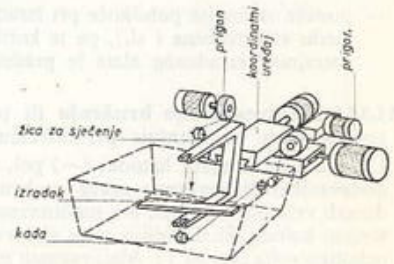
Izgled manje univerzalne erozivne bušilice prikazuje ③.

Elektroerozivni strojevi se najčešće izvode kao bušilice no mogu biti izvedeni i kao:

- elektroerozivne brusilice za ravno i okruglo brušenje
- elektroerozivne odsjecalice i isjecalice.



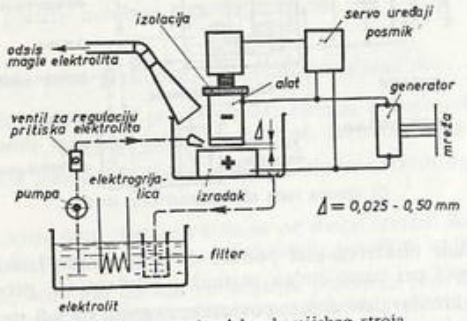
③ Elektroerozivna bušilica



④ Shema elektroerozivnog stroja za isijecanje

Na ④ je prikazana shema elektroerozivne isjecalice koja iskorištava kao elektrodu-alat tanku žicu. Žica se premotava s jednog na drugi bubanj tokom automatskog posmicanja radnog stola s izratkom koji se isijeca. To se primjenjuje pri istodobnoj izradi čepa i matrice za štancanje. Pomicanje po krivuljnoj konturi moguće je putem kopiranja ili programskim upravljanjem. Debljina žice može biti ispod 0,1 mm.

211.163 Elektrokemijska obrada ili elektrolitska obrada metala tek je nedavno ušla u praksu. Način njenog djelovanja kaže sam naziv: radi se, jednostavno, o elektrolizi između izratka koji čini anoda, (+) pol, i alata, koji je katoda, (−) pol. Među njima struji pod pritiskom elektrolit, a uvjet mu je da su elektrode vrlo blizu jedna do druge i da se



⑤ Shema rada elektrokemijskog stroja

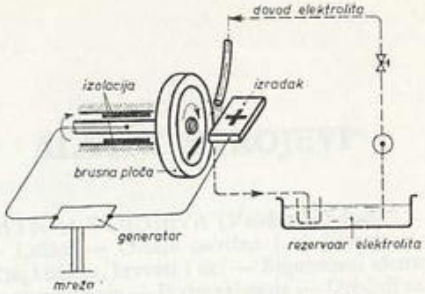
taj razmak održava iako elektroda-alat prodire pri tome u izradak. Osnovna mu je prednost pred elektroerozivnom obradom u tome što se elektroda-alat ne troši i ostaje nepromijenjena tokom procesa rada. To je od neprocjenjive važnosti pri izradi kalupa, matrica, ukovanja, kokila, ali i u izradi turbinskih lopatica itd. Izvedba stroja za elektrolitsku obradu ⑤, slična je elektroerozivnom stroju uglavnom po vanjskom izgledu i po razmještaju. U samoj biti rada ima razlika, i to osnovnih:

- elektrode alat-izradak ne leže potopljene u izolirajućoj tekućini kao pri elektroeroziji, već se elektrolit (vodič struje) pod pritiskom (12–15 kp/cm²) ubacuje u međuprostor obiju elektroda;
- ima uređaj za filtriranje i obnavljanje elektrolita, uključivši automatsko održavanje konstantnog pritiska i temperature;
- kod elektrolitske obrade nema iskre koja bi odnosila čestice metala, već se ovdje metal rastvara strujom iona; radni napon je nizak (do 15 V), ali su struje velike (do 200 A/cm² alata);
- postoje stanovite poteškoće pri izradi elektrode-alata (zbog protoka elektrolita, zazora među elektrodama i sl.), pa je korištenje ekonomično za serijsku proizvodnju. Dugotrajnost izrađenog alata je prednost koja mnogo znači.

211.164 Elektroanodno brušenje ili poznatije pod nazivom eliziranje jest postupak koji se često primjenjuje pri oštrenju alata od tvrdih metala.

U obradi eliziranjem katodu, (−) pol, čini brusna ploča (vodič), koja djeluje abrazivno dodavanjem dijamantnog praha po brusnoj površini. Izradak je anoda, (+) pol, koji se dovodi vrlo blizu katodi, a u međurazmaku se elektrolit obnavlja stalnim mlazom i okretanjem katode ⑥. Debljina sloja elektrolita iznosi nekoliko stotinki milimetara, a napon nekoliko volta (do 10 V). Mali razmak među elektrodama ima praktičnu prednost, obrada postaje precizna.

Brusna ploča je jedna te ista bilo za koju vrstu metala ili njihove kombinacije (npr. držač noža od strojogradevnog čelika, pločica od tvrdog metala), dok su elektroliti po pravilu različiti za razne metale.



⑥ Shema rada elektroanodne brusilice

Elektroanodno brušenje je postupak obrade na hladno, ne oštećuje metaluršku strukturu izratka. Na površini nema brazda ni srha, a hrapavost površine vrlo je malena. Treba paziti da prilikom procesa rada ne dođe do pojave električnih lukova jer oni djeluju razorno na površinu izratka. Pojava lukova sprečava se automatskom regulacijom generatora struje.

Osim za ravno brušenje, odnosno oštrenje alata, elektroanodne brusilice izvedene su već i za unutarnje brušenje, a najčešće se primjenjuju pri izradi matrica za izvlačenje žica.

VELEBIR Krešimir, dipl. inženjer strojarstva
BODROŽIĆ Ivica, dipl. inženjer strojarstva

ALATNI STROJEVI*

212.01 ELEMENTI ALATNIH STROJEVA (*Velebir, Bodrožić*) 507
Radna vretena — Ležaji — Ostale osovine i uležištenja — Prijenosnici — Vodilice — Postolja, kućišta, kreveti i dr. — Sigurnosni elementi, spojke, kočnice, mehanizmi za upravljanje — Podmazivanje — Uređaji za rashladivanje — Prihvatni elementi — Uređaji za kopiranje — Automatizacija

212.02 TOKARILICE (*Velebir*) 547
Jednostavne — Univerzalne — Kopirne — Planske — Karusel — Revolverske — Automati — Tokarilice za natražno tokarenje — Teške — Tokarilice za obradu ingota

212.03 BLANJALICE (*Velebir*) 564
Kratkohodne i dugohodne blanjalice — Dubilice — Blanjalice za patrice, za utore, za obradu rubova limova

212.04 BUŠILICE (*Velebir*) 570
Stolne i stolno-stupne — Stupne — Redne — Revolverske — Viševretene — Radijalne — Horizontalne — Koordinatne — Bušilice za duboko bušenje — Bušilice za navoje

212.05 GLODALICE (*Bodrožić, Velebir*) 583
Istosmjerno glodanje — Horizontalne — Univerzalne — Vertikalne — Alatne — Planske — Uzdužne — Kopirne — Stroj za ravnanje čela i zabušivanje središnjih uvrta — Uređaji za dijeljenje

212.06 PROVLAČILICE (*Bodrožić*) 601

212.07 BRUSILICE (*Bodrožić*) 603
Brusilice za okruglo vanjsko brušenje — Univerzalne — Brusilice bez šiljaka, za unutarnje brušenje, za ravno brušenje

212.08 STROJNE PILE I TURPIJE (*Bodrožić*) 613
Kružne, tračne, lučne pile — Strojne turpije

212.09 STROJEVI ZA OZUBLJAVANJE (*Velebir*) 615
Strojevi za obradu čeonih zupčanika blanjanjem pomoću alata u obliku zubne letve i s alatom u obliku zupčanika — Strojevi za odvalno glodanje čeonih zupčanika i pužnih kola — Strojevi za obradu stožnih zupčanika — Strojevi za finu obradu zupčanika

212.10 STROJEVI ZAVRŠNE OBRADE POVRŠINE (*Bodrožić*) 633
Polirke — Strojevi za lepanje i honanje

212.11 SPECIJALNI STROJEVI (*Bodrožić*) 637
Specijalni stroj za ljuštenje navoja — Ugradbene jedinice, agregatni strojevi — Transfer staze

* Opaska autora: Tekst poglavlja „Alatni strojevi" priređen je za ovo izdanje u toku 1967. god. Zbog toga neki odlomci u tekstu nisu potpuno usklađeni s današnjim razvojem na tom području.

Literatura

Schwerd F.: SPANENDE WERKZEUGMASCHINEN
Springer Verlag, Berlin (Göttingen) Heidelberg 1956.

Kučer I. M.: METALLOREŽUŠĆIJE STANKI
Mašinostroenije, Moskva 1964.

Dubbels: TASCHENBUCH FÜR DEN MASCHINENBAU
Springer Verlag, Berlin (Göttingen) Heidelberg 1953.

Simon W.: DIE NUMERISCHE STEUERUNG VON WERKZEUGMASCHINEN
Carl Hanser Verlag, München 1963.

Ačerkan N. S.: METALOREŽUŠĆIJE STANKI
Mašgiz, Moskva 1957.

Graupner: FRÄSMASCHINEN
VEB Verlag Tehnik, Berlin 1961.

Koenigsberger: BERECHNUNGEN, KONSTRUKTIONSGRUNDLAGEN UND BAUELEMENTE SPANENDER WERKZEUGMASCHINEN
Springer Verlag, Berlin 1961.

Stau: DIE DREHMASCHINEN
Springer Verlag, Berlin 1963.

BETRIEBSHÜTTE, Band II
Verlag W. Ernst + Sohn, Berlin 1957.

TEHNIČKA ENCIKLOPEDIJA 1
Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb 1963.

SPRAVOČNIK TEHNOLOGA MAŠINOSTROITELJA I/II
Mašgiz, Moskva 1963.

KATALOZI I PROSPEKTI PROIZVOĐAČA ALATNIH STROJEVA I OPREME

212 ALATNI STROJEVI ZA OBRADU METALA

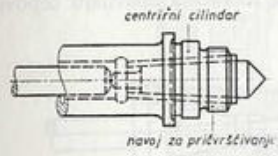
212.01 ELEMENTI ALATNIH STROJEVA

Pod elementima alatnih strojeva razumijevaju se oni strojni elementi koji su specifični za alatne strojeve, odnosno strojni elementi od kojih su građeni alatni strojevi.

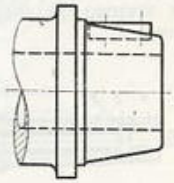
212.010.1 Radna (glavna) vretena

Kod alatnih strojeva kod kojih je glavno radno kretanje rotacijsko, radna (glavna) vretena služe za prihvat izratka (tokarilice) ili alata (bušilice, glodalice, brusilice itd.). Zbog specifičnosti zadatka ta vretena treba da su posebno konstruirana, tj. moraju udovoljiti uvjetima prihvata za izradak ili za alat i omogućiti točnost obrade. Zato moraju biti točno vođena i dovoljno kruta.

Nastavci vretena za centriranje i učvršćivanje prihvatnih naprava imaju konične, cilindrične ili ravne plohe. Cilindrične i ravne plohe imaju manju točnost centriranja od koničnih pa se stoga za tu svrhu najčešće upotrebljavaju konusi. ① prikazuje izdanak radnog vretena, starije izvedbe, gdje su centrirni cilindar i ravna ploha dijelovi koji

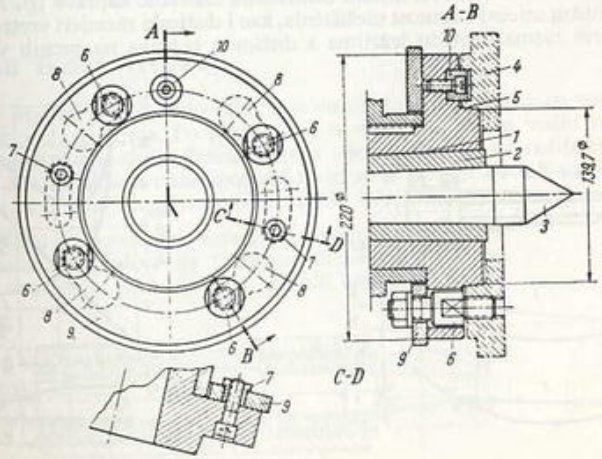


① Izdanak radnog vretena s cilindričnim centriranjem



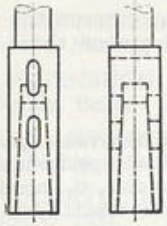
② Izdanak radnog vretena s koničnim centriranjem

vode steznu napravu, ova se priteže navojem za pričvršćivanje. Radno vreteno je šuplje za prolaz šipkastog materijala, a završetak u izdanku ima konus (Morse) za prihvat centrirnog šiljka. Bolje vođenje stezne glave s konusom prikazuju nastavci radnih vretena na

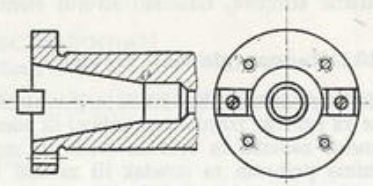


③ Izdanak s brzim steznjem i kratkim konusom za centriranje

② i ③ za tokarilice, a ④ i ⑤ s unutrašnjim konusom za bušilice i glodalice. Na izvedbi ③ ulogu centriranja ima kratki konus, a prijenos zakretnog momenta čep 10. Ploča 9 omogućava skidanje zahvatne glave. Pri izvedbi ④ procijepi kroz nastavak vretena služe

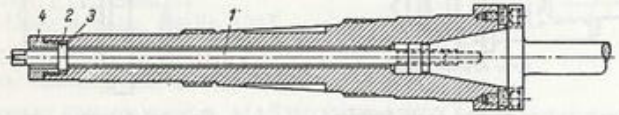


④ Izdanak za prihvat s unutarnjim konusom



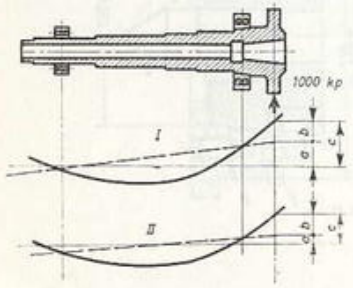
⑤ Prihvat za velika opterećenja s unutarnjim konusom

za prijenos zakretnog momenta i za izbijanje alata. Kod vretena glodalica centrirni konus obično je strm pa je potrebno glodalo, odnosno trn za glodalo posebno stegnuti vijkom kroz vreteno ⑥, dok prijenos zakretnog momenta obavljaju čepovi smješteni na čelu vretena.

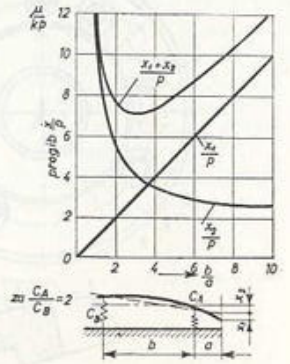


⑥ Radno vreteno glodalice

Radna vretena izrađuju se od termički obrađenih ugljičnih ili legiranih čelika. Dimenzioniranje se provodi na temelju potrebne krutosti. Pod krutošću se razumijeva sila koja stvara progib od 0,001 mm na mjestu centriranja zahvatne naprave ⑦. Na ukupan progib ima presudan utjecaj i krutost uležištenja, kao i dužinski razmjeri vretena. ⑧ prikazuje utjecaj omjera razmaka među ležajima s dužinom izdanka na progib vretena i ležaja.

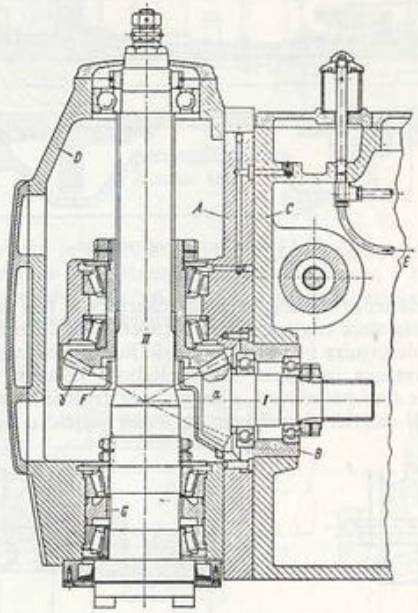


⑦ Progib radnog vretena



⑧ Utjecaj dužine radnog vretena na progib

Krutost vretena tokarilica kreće se npr. oko 25 kp/μ, a za specijalne tokarilice za finu obradu i iznad 60 kp/μ. Da bi se dobila što bolja kvaliteta površine, glavna vretena izvode se često kao tzv. rasterećena ili se pak zupčanik koji prenosi zakretni moment stavlja u što veću blizinu ležaja. Rasterećeno vreteno prikazuje ⑨. Pri toj izvedbi zupčanik prenosi na radno vreteno samo moment torzije, dok istodobno ne može prouzročiti savijanje jer je posebno uležišten.

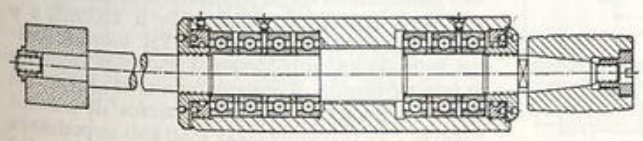


⑨ Uležištenje radnog vretena

212.010.2 Ležaji radnih vretena

Ležaji radnih vretena moraju udovoljiti vrlo visokim zahtjevima što ih postavljaju uvjeti rada i točnost alatnog stroja. Po pravilu oni moraju vrlo dobro voditi radno vreteno i imati mogućnost podešavanja. Prema smjeru opterećenja oni su radijalni i aksijalni ili kombinirani. Prema načinu rada upotrebljavaju se u gradnji alatnih strojeva kotrljajući i klizni ležaji, a u novije vrijeme i hidrostatski ležaji.

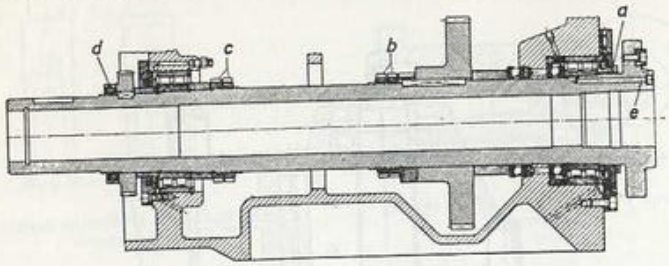
Kotrljajući ležaji su specijalne izvedbe povišene točnosti, pa i sa smanjenom zračnošću. ⑩ prikazuje uležištenje brusnog vretena za unutarnje brušenje (do 60 000 o/min). Pri toj



⑩ Uležištenje radnog vretena

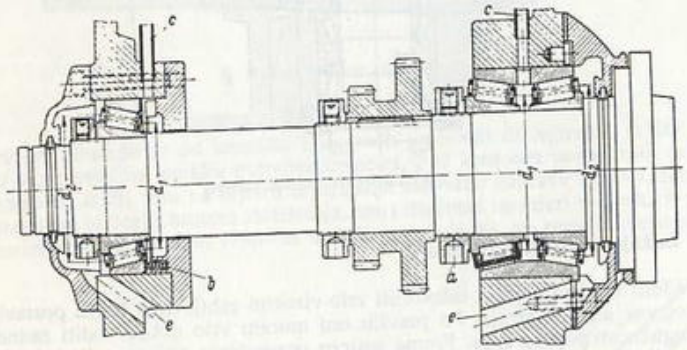
⑪ Ležaj serije NN

izvedbi se aksijalna zračnost podešava prednjom unutrašnjom maticom, a često se u tu svrhu upotrebljava i ugrađena opruga. ⑨ prikazuje uležištenje radnog vretena vertikalne glodalice, gdje su kao glavni (prednji) ležaj primijenjena dva konusna valjkasta ležaja. S posebnom mogućnošću podešavanja razvijeni su valjkasti ležaji serije NN s unutrašnjim konusom 1 : 12 i dva reda valjaka međusobno pomaknuta za pola diobe

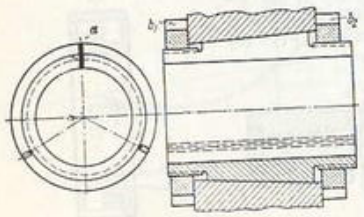


⑫ Uležištenje radnog vretena

⑪. ⑫ prikazuje uležištenje radnog vretena tokarilice s NN ležajima. Matice a, b, c i d ovdje služe za podešavanje odgovarajuće zračnosti ležaja. Pri navlačenju ležaja na konus unutrašnja ljuska se deformira pa je moguće vrlo fino podešavanje zračnosti. ⑬ prikazuje uležištenje radnog vretena tokarilice sa specijalnim ležajem tvornice »GAMET«. Taj ležaj se također može fino podešavati, a mogućnost trešnje smanjena mu je obilnom cirkulacijom ulja (šuplji valjčići) i razlikom za jedan valjčić u broju valjčića u vijencima.

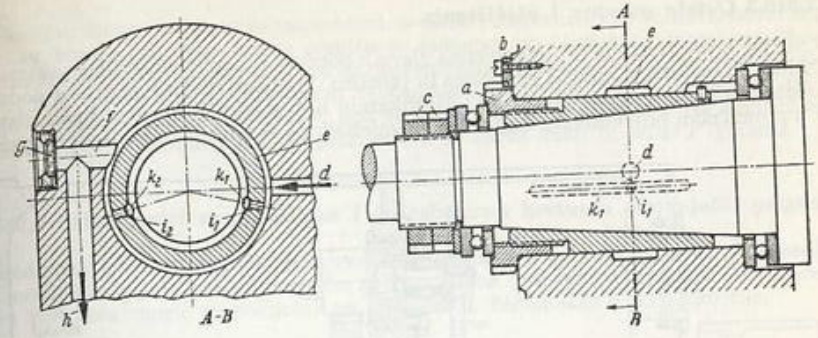


⑬ Uležištenje radnog vretena



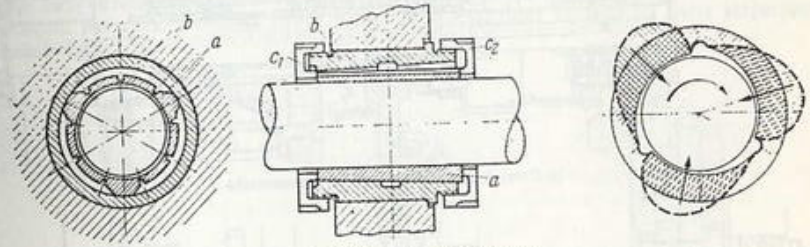
⑭ Klizni ležaj

Zbog vrlo male dopuštene zračnosti i širokog dijapazona broja okreta klizni ležaji ne mogu raditi kao hidrodinamski ležaji (osim kod brusilica). Dimenzioniraju se po iskustvu sa $p \cdot v < 15$, gdje je p specifično opterećenje u kp/cm², a v obodna brzina rukavca u m/s. Pri tome se uzima p do 20 kp/cm². Materijal blazinice redovito je ležajna bronca. Konstruktivno se izvode klizni ležaji kao podesivi (konična blazinica ili konični rukavac). ⑭ prikazuje takav ležaj koji se podešava maticama b_1 i b_2. Da bi se ležaj mogao prilagoditi



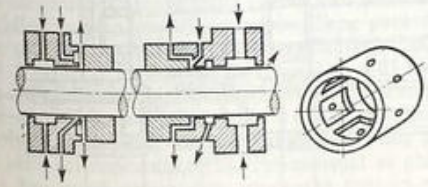
⑮ Konični klizni ležaj

osovini, na nekoliko mjesta je zasječen, a kod *a* je prosječen (uložen je komad drveta ili klin u obliku lastina repa zbog širenja). ⑮ prikazuje ležaj s koničnim rukavcem, pa nije potrebno da ležaj bude prosječen. ⑯ prikazuje poznati ležaj »Mackensen« sa tri klina maziva pa nastali tlakovi centriraju čep.

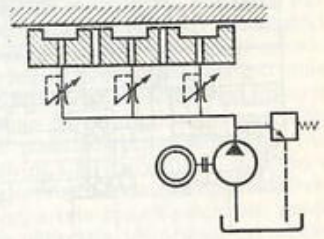


⑯ Mackensenov klizni ležaj

⑰ prikazuje shematski hidrostatski ležaj. Zbog svojih osobina (neznatno trenje, dobro centriranje, visoka krutost) on je sve interesantniji za gradnju alatnih strojeva. ⑱ prikazuje principijelni rad takvog ležaja. Pumpa dobavlja ulje pod pritiskom preko kapilara ili membranskih prigušnica u džepove ležaja. Odmakne li se osovina, padne pritisak u džepu, dok u protivnu slučaju poraste i razlika sila vraća osovinu u njen prvobitan položaj. Tako je osovina odlično vođena. Ona lebdi na jastuku maziva, a do njezina dodira s blazinicom dolazi samo kad prestane rad.



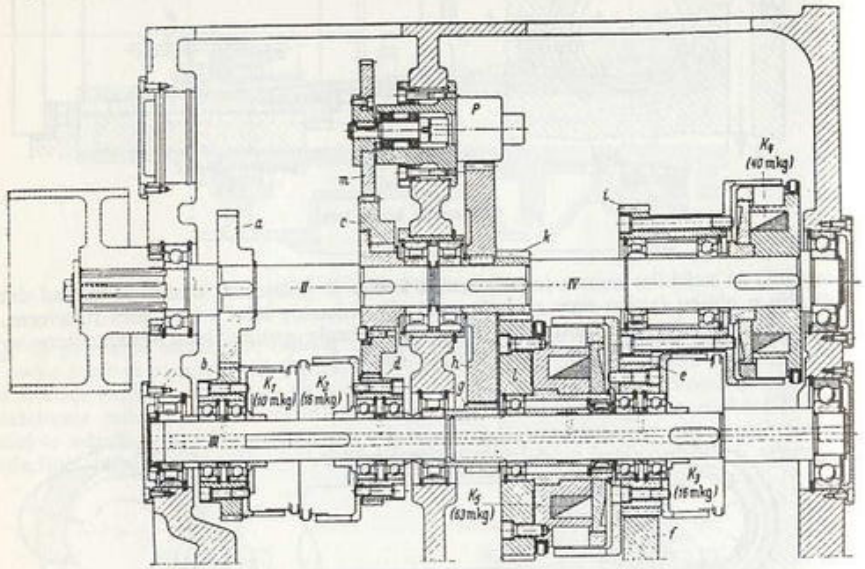
⑰ Hidrostatsko uležištenje



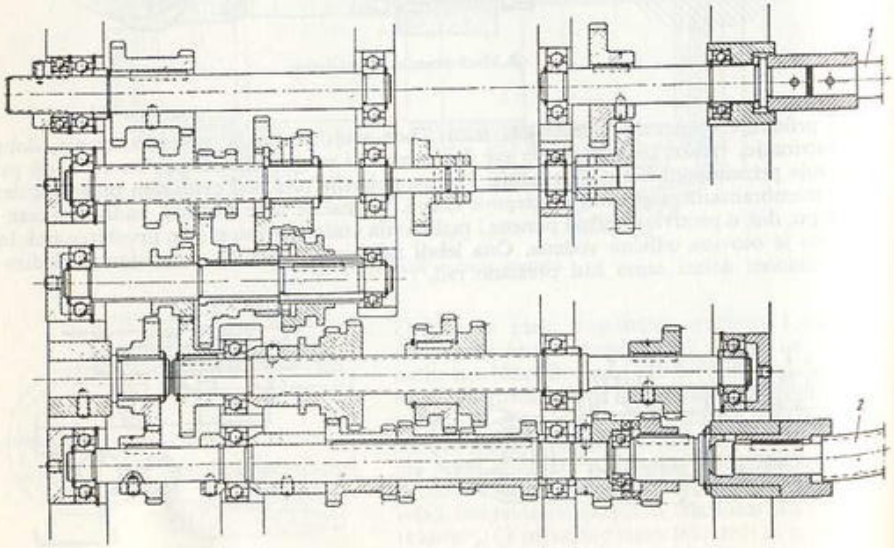
⑱ Princip djelovanja hidrostatskog ležaja

212.010.3 Ostale osovine i uležištenja

Osovine u vreteništima (prijenosnicima glavnih pogona) i posmičnim prijenosnicima uležištena su najčešće u ležaje s kuglicama ili valjcima. Proračun se izrađuje prema podacima o ležajima s obzirom na trajnost. ⑲ i ⑳ prikazuju načine uležištenja u jednom glavnom i u posmičnom prijenosniku. Zupčanici se smještaju na osovinama tako da po mogućnosti



⑲ Presjek kroz dio glavnog prijenosnika



⑳ Presjek kroz posmični prijenosnik

na osovinu djeluju najmanjim momentom savijanja. Zupčanici koji se međusobno kopčaju za biranje određene brzine pomiču se polugom po klinastom dijelu osovine ili se ukopčavaju preko spojki. Osovine se dimenzioniraju na temelju dopuštenog progiba, koji smije nastupiti pod opterećenim zupčanikom. Materijal osovina je ugljični čelik, često termički obrađen (poboljšan), dok su zupčanici od legiranog čelika cementirani i kaljeni. Na pojedinim mjestima primjenjuju se klizni ležaji ili ležaji s iglicama.

212.010.4 Prijenosnici za rotacijska i translatorna kretanja (mjenjački prigoni)

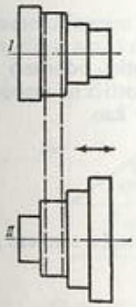
Prijenosnici se prema načinu na koji se kreće element u pogonu dijele na prijenosnike za rotacijska kretanja i na prijenosnike za translatorna (pravocrtna) kretanja. Prema sredstvu prijenosa mogu se podijeliti na mehaničke, hidrauličke i na električke.

212.010.41 Prijenosnici za rotacijska kretanja

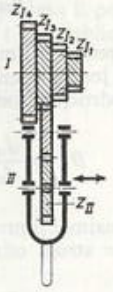
Ti prijenosnici dijele se na prijenosnike sa stepenastim i na one s kontinuiranim biranjem broja okreta. Prema namjeni dijele se na prijenosnike za glavne (radni pogon) i za pomoćne pogone.

212.010.42 Prijenosnici za stepenasto biranje broja okreta

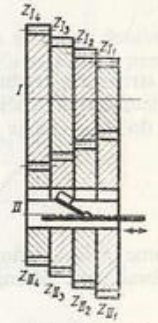
Željeni broj okreta biramo kod jednostavnih alatnih strojeva i malih zahtjeva s obzirom na ukupnu mogućnost opsega broja okreta premještanjem remena na paru stepenastih remenica ㉑.



㉑ Remenski prijenosnik



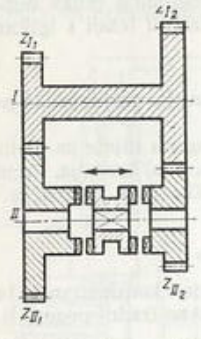
㉒ Nortonov prijenosnik



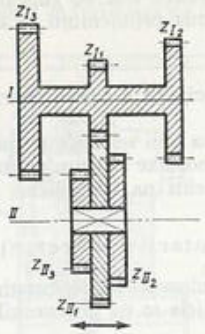
㉓ Prijenosnik s klinom za ukopčavanje

Promjeri remenica su u tom slučaju dimenzionirani tako da je teoretska potrebna dužina remena jednaka na svakom stupnju i pri istom osnom razmaku. Najčešći prijenosnici za stepenasto biranje broja okreta jesu prijenosnici s kombinacijama zupčaničkih parova. Uključivanjem pojedinog zupčaničkog para dobivamo željeni broj okreta. Uključivanje se postiže ubacivanjem međuzupčanika u zahvat između stalnog zupčanika na osovini II i biranog zupčanika na osovini I. Taj način prikazuje ㉒, a primjenjuje se obično za posmične prijenosnike (Nortonov prijenosnik. Kao posmični prijenosnik koji put se upotrebljava i prijenosnik s nizom zupčanika na osovini I i II u stalnom zahvatu, a prijenos se postiže uključivanjem pomičnog plošnog pera posebne konstrukcije u zahvat s biranim zupčanikom ㉓. Prijenosnici za glavne pogone, a vrlo često i posmične, grade se kao kombinacija niza zupčanika koji se međusobno uključuju ukopčavanjem spojke ㉔ ili pomicanjem po osovini i međusobnim uzubljivanjem ㉕. Obično su prijenosnici

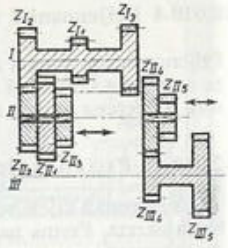
složeni od niza osovina, koje su međusobno spojene opisanim zupčaničkim kombinacijama, pa se time postiže potreban opseg brojeva okreta ㉖. Prijenosnik za radna (glavna) kretanja mora omogućiti odgovarajuće mjenjačko područje brzina, tj. mora omogućiti



㉓ Ukopčavanje sa spojkom



㉔ Ukopčavanje s pomakom zupčanika



㉕ Višeosovinski zupčani prijenosnik

biranje niza brojeva okreta za postizavanje potrebnih reznih brzina od v_{max} do v_{min}. Prema tome, mjenjačko područje brzina definirano je kao

$$B_v = \frac{v_{max}}{v_{min}}$$

Kod strojeva s kružnim glavnim kretanjem ima i promjer izratka, odnosno alata utjecaj na mjenjačko područje prijenosnika jer navedene brzine treba postići na rasponu promjera d_{max} do d_{min}, pa je mjenjačko područje promjera definirano kao

$$B_d = \frac{d_{max}}{d_{min}}$$

Pri tome je d_{min} definiran kao onaj najmanji promjer pri kojem treba strojem još ekonomski obrađivati. Mjenjačko područje stroja određeno je sa

$$B_n = \frac{n_{max}}{n_{min}}$$

$$\text{jer je } n = \frac{1\,000 \cdot v}{d \cdot \pi}.$$

Slijedi:

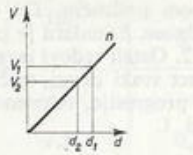
$$B_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{\dfrac{1\,000 \cdot v_{max}}{d_{min} \cdot \pi}}{\dfrac{1\,000 \cdot v_{min}}{d_{max} \cdot \pi}} = \frac{v_{max} \cdot d_{max}}{v_{min} \cdot d_{min}} = B_v \cdot B_d$$

Veličina mjenjačkog područja prijenosnika alatnog stroja zavisi od namjene. Na primjer, kod specijalnih tokarilica $B_n = 20$, a kod univerzalnih $B_n = 200$. Proširenje mjenjačkog područja i povećanje broja stupnjeva u njemu znatno poskupljuju alatni stroj.

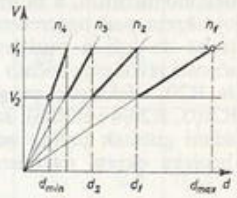
Predočimo li jednadžbu za brzinu

$$v = \frac{\pi \cdot n}{1\,000} \cdot d$$

grafički u zavisnosti od promjera d, nagib pravca određuje nam konstanta veličine broja okreta. Obrađujemo li izradak ekonomski u granicama brzina v_1 do v_2, to je kod jednog određenog broja okreta moguće postići samo na promjerima u granicama d_1 do d_2 ㉗. Za predviđeno mjenjačko područje promjera B_d potrebno je raspolagati sa z



㉗ Pilasti dijagram

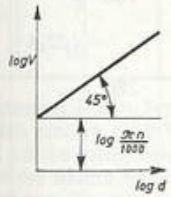


㉘ Pilasti dijagram

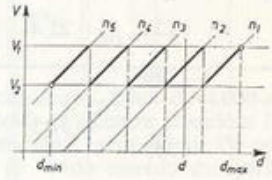
stupnjeva brojeva okreta da bi se izradak mogao obrađivati u području brzina v_1 do v_2 ㉘. Prikazana slika može ujedno služiti za biranje broja okreta za zadani v i d. Međutim, isti dijagram znatno je pregledniji ako se crta u logaritamskom mjerilu. Tada je

$$\log v = \log \frac{\pi \cdot n}{1\,000} + \log d$$

pa dobivamo dijagram ㉙ i ㉚. Upotrijebimo li pogodna mjerila za v i d, dobivamo vrlo prikladan dijagram, koji je često dan i kao tablica na stroju. Za određeni promjer bi-



㉙ Pilasti dijagram



㉚ Pilasti dijagram

ramo onaj broj okreta koji zadovoljava dijapazon brzina v_2 do v_1. Dijagram ㉙, odnosno ㉚, zove se pilasti dijagram, a predočuje stupnjevanje broja okreta u geometrijskoj progresiji jer je omjer broja okreta konstantan i čini geometrijski red:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{d_1 \pi \cdot n_2}{d_1 \pi \cdot n_1} = \frac{d_2 \pi \cdot n_3}{d_2 \pi \cdot n_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_3}{n_2} = \frac{n_3}{n_4} = \text{konst} = \varphi$$

Pri tome φ je faktor geometrijske progresije.

Smanjujemo li brzinu obrade od optimalne, režim obrade prestaje biti optimalan zbog smanjenja, odnosno gubitka brzine, pa za prijenosnik možemo definirati gubitak brzine kao

$$\Delta v = v_1 - v_2$$

Relativni gubitak brzine tada je:

$$\frac{\Delta v}{v_1} = \frac{v_1 - v_2}{v_1} = 1 - \frac{v_2}{v_1} = 1 - \frac{1}{\frac{v_1}{v_2}} = 1 - \frac{1}{\varphi} = \frac{\varphi - 1}{\varphi}$$

Što je manji relativni gubitak brzine prijenosnika, to se bolje možemo približiti optimalnom procesu obrade. Međutim, prijenosnici koji imaju manji relativni gubitak brzine, toliko su i skuplji. Prijenosnici se redovito izvode s geometrijskim stupnjevanjem broja okreta kao najekonomičnijim, a za brojeve okreta biraju se standardni brojevi po JUS-u. Ostvareni broj okreta pod opterećenjem može odstupati od propisanog ± 2%, i to po mogućnosti treba da leži u pozitivnom tolerantnom području. Do odstupanja dolazi zbog nemogućnosti izvođenja točnih prijenosnih odnosa. Standard je izveden na temelju osnovnog reda R20, s faktorom progresije $\varphi = 1{,}12$. Ostali redovi izvedeni su iz temeljnog (R20/2, R20/3, R20/4 i R20/6), kod kojeg je uzet svaki drugi, treći, četvrti, odnosno šesti član. Zadani gubitak brzine određuje faktor progresije, odnosno red. Vrijednosti standardnih brojeva okreta navedene su u tablici 1.

Nazivna vrijednost u o/min Tablica 1.

Temeljni red R20	Izvedeni redovi								
	R20/2	R20/3			R20/4		R20/6		
$\varphi = 1{,}12$	$\varphi = 1{,}25$	$\varphi = 1{,}4$			$\varphi = 1{,}6$		$\varphi = 2$		
100				1 000					
112	112	11,2	125			112	11,2		
125				1 400	140				1 400
140	140	16							
160									
180	180		180	2 000		180		180	
200					224		22,4		
224	224	22,4	250						
250				2 800		280			2 800
280	280								
315		31,5	355		355			355	
355	355			4 000		450	45		
400									
450	450	45	500						
500									
560	560			5 600	560				5 600
630		63	710			710		710	
710	170								
800									
900	900	90		8 000	900		90		
1 000			1 000						

Redovi se mogu proširivati na manje i veće vrijednosti dijeljenjem ili množenjem sa 10, 10^2 itd. Analogan je i standard za posmike koji se odnosi na posmike izražene u mm/o, mm/hod i mm/min. Vrijednosti za standardne posmike po DIN 803 dane su u tablici 2.

Standardni posmici Tablica 2.

R20	R20/2	R20/3			R20/4		R20/6		
$\varphi = 1{,}12$	$\varphi = 1{,}25$	$\varphi = 1{,}4$			$\varphi = 1{,}6$		$\varphi = 2$		
1	1		1		1		1		
1,12				11,2					
1,25	1,25	0,125				0,125			
1,4			1,4						
1,6	1,6			16	1,6				16
1,8		0,18							
2	2		2				2		
2,24				22,4					
2,5	2,5	0,25			2,5	0,25			
2,8			2,8						
3,15	3,15			31,5					31,5
3,55		0,355							
4	4		4		4		4		
4,5				45		0,5			
5	5	0,5							
5,6			5,6						
6,3	6,3			63	6,3				63
7,1		0,71							
8	8		8				8		
9				90					
10	10	1			10	1			

Ako alatni strojevi imaju brz posmik (brz hod), on iznosi 1 000 do 4 000 mm/min, a kod rotacijskih stolova od 0,7 do 3 o/min. Kod nekih prigona za posmična ili pomoćna kretanja koji put se primjenjuje i aritmetičko stupnjevanje broja okreta. Pri takvom stupnjevanju brojevi okreta tvore aritmetički red pa je razlika između dva prileđeća broja okreta konstantna. To je za radne prigone neekonomično jer im uz male promjere stoji na raspolaganju gušći niz brojeva okreta nego kod većih.

Za geometrijsko stupnjevanje broja okreta imamo:

$$\varphi = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_3}{n_2} = \frac{n_4}{n_3} \text{ itd., pa e:}$$

$$n_2 = n_1 \cdot \varphi$$

$$n_3 = n_2 \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^2 \qquad \varphi = \sqrt[z-1]{\frac{n_z}{n_1}} = \sqrt[z-1]{B_n}$$

$$n_4 = n_3 \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^3$$

$$\cdots\cdots\cdots$$

$$n_z = n_1 \cdot \varphi^{z-1}$$

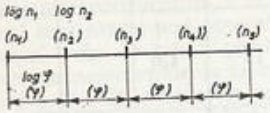
gdje je z broj stupnjeva prijenosnika.

Izrazimo li te jednadžbe logaritamski, imamo:

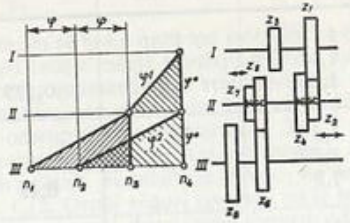
$$\log n_2 = \log n_1 + \log \varphi$$

$$\log n_3 = \log n_1 + 2 \log \varphi \text{ itd.}$$

To, prikazano na brojnom pravcu, predočuje ㉛. Na temelju toga možemo nacrtati kinematski dijagram prijenosnika (Schlesingerov dijagram), gdje ekvidistantna mreža vertikalnih pravaca predočuje brojeve okreta, a horizontalni pravci osovine prijenosnika preko kojih se prijenos ostvaruje. ㉜ predočuje kinematsku shemu i dijagram za prijenosnik sa tri osovine i četiri para zupčanika kojima se postižu četiri moguća broja okreta.

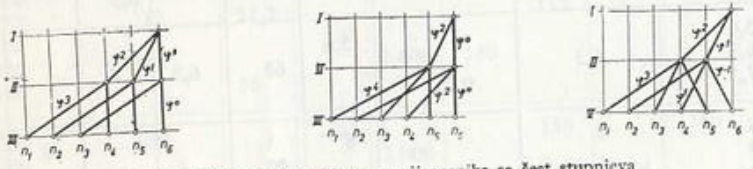


㉛ Kinematski dijagram četverostepenog prijenosnika



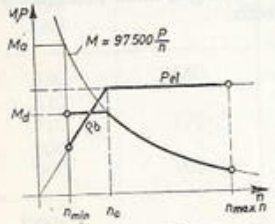
㉜ Kinematski dijagram četverostepenog prijenosnika

Osovina I ima broj okreta n_4. Uključi li se par zupčanika z_1-z_2 ili z_3-z_4, tada će osovina II dobiti pogon brojem okreta n_4 ili n_3. Uključe li se dalje zupčanici z_5-z_6 ili z_7-z_8, multipliciraju se brojevi okreta za daljnje dvije kombinacije pa osovina III može imati brojeve okreta n_1, n_2, n_3 i n_4. Pri tome nam nagib spojne dužine između točaka koresponderajućih osovina i brojeva okreta u kinematskom dijagramu predočuje potreban prijenosni omjer para zupčanika da se ostvari zadana kinematika. ㉝, ㉞ i ㉟ prikazuju



㉝, ㉞, i ㉟ Kinematski dijagram prijenosnika sa šest stupnjeva

razne kombinacije prijenosnih odnosa u kinematskom dijagramu da bi se preko tri osovine i pet pari zupčanika postiglo šest mogućih brojeva okreta na izlaznoj osovini. Kombinacijom iz kinematskih dijagrama dobije se najpovoljnija strukturna shema za zadani prijenosnik, a uvjeti kojima mora kinematika udovoljavati jesu: zadani broj brzina treba postići minimalnim brojem zupčanika; momenti savijanja treba da su što manji; najmanji broj zubi zupčanika je 20; najveći upotrebljivi prijenosni odnos je 1 : 4; izbjegavati valja ubrzanja, a kod primijenjenih ono treba da je što manje; pri redukciji valja veće prijenosne odnose upotrijebiti u posljednjim stupnjevima. Kinematskim dijagramom definiran je prijenosnik u pogledu broja osovina, broja zupčanika i prijenosnog odnosa pojedinog para zupčanika. Na temelju toga izračunavaju se brojevi zuba zupčanika, a njegov modul i širina određuju se na temelju čvrstoće i vijeka trajanja. Promjeri osovina određuju se iz podataka o dopuštenim progibima i kutovima uvijanja.



㊱ Dijagram snage i momenta

Za univerzalne strojeve prijenosnik se dimenzionira za manji moment od onog koji je ostvariv pri minimalnom broju okreta. ㊱ prikazuje dijagram snage, odnosno momenta u zavisnosti od broja okreta. Kod n_{min} i konstantne snage P_{el} dobio bi se moment M_a s kojim bi dimenzionirani stroj bio preglomazan, skup i ekonomski neracionalno dimen-

zioniran. Stoga se stroj dimenzionira za moment M_d, koji se postiže pri broju okreta n_e, pa se pri manjim brojevima okreta od n_e smije stroj opterećivati do konstantnog momenta M_d i ne iskorištava se puna snaga već samo P_d. Pri većim brojevima okreta od n_e može se iskoristiti puna snaga elektro-motora, dok je prijenosnik predimenzioniran i materijal se ne iskorištava potpuno. Zato se, na primjer, za tokarilice određuje najpovoljniji maksimalni dopušteni moment M_d na radnom vretenu po kojemu se dimenzionira prijenosnik, a određen je tokarenjem materijala čvrstoće 60 kp/mm² i brzine rezanja $v = 20$ m/min, što odgovara specifičnom otporu rezanja $k_m = 140$ kp/mm², a na promjeru tokarenja

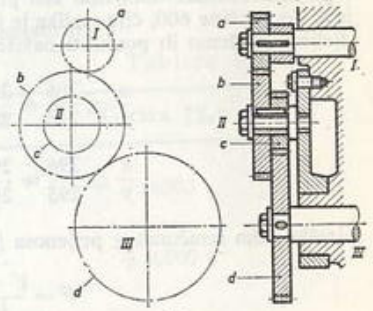
$$d = \frac{\text{promjer tokarenja iznad postelje}}{1{,}6}$$

212.010.43 Izmjenljivi zupčanici na škarama

Za postizanje nekog točnog prijenosnog odnosa u alatnim strojevima često se upotrebljavaju izmjenljivi zupčanici na tzv. škarama. Stroj posjeduje za to slog izmjenljivih zupčanika, koji se montiraju na prilagodljiv uređaj tako da se fiksni osni razmak ㊲ I—III može premostiti s jedan (i međuzupčanik) ili dva para zupčanika, koje treba za svaki pojedini slučaj posebno odrediti.

Pri tome je prijenosni omjer zadan konstantom stroja i nekim karakterističnim veličinama izratka koji se obrađuje. Potrebna točnost takvog kinematskog prijenosa također je posebno zadana. Takav izmjenljivi sistem za biranje prijenosnog odnosa služi uglavnom za postizanje nekog točnog posmika, za diferencijalnu korekciju kinematskog lanca za ostvarivanje točnog odvaljivanja itd.

Tu je potrebno sa dva para zupčanika postići zadani prijenos i, pa je:



㊲ Škare

$$i = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

Tu su a i c brojevi zubi pogonskih zupčanika, a b i d brojevi zubi pogonjenih zupčanika. Veličine brojeva zubi ograničene su konstruktivnom izvedbom i mogućnošću montaže. Tako je, na primjer, uvjet montaže:

$$a + b \geqq c + (15 \text{ do } 20)$$
$$c + d \geqq b + (15 \text{ do } 20).$$

Potrebni zupčanici mogu se odrediti pomoću nekoliko metoda.

Metoda s korekcijskim razlomkom

Primjer. Neka je zadan prijenos koji treba ostvariti sa dva para zupčanika.

$$i = \frac{119{,}537\,2}{214{,}44} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

Logaritamskim računalom odredimo približan prijenos, koji korigiramo omjerom $\frac{x}{y}$ da bismo zadržali točnost pa je:

$$\frac{119{,}537\,2}{214{,}44} = \frac{5}{9} \cdot \frac{x}{y}$$

Pri tome je

$$\frac{x}{y} = \frac{119{,}537\,2}{214{,}44} \cdot \frac{9}{5} = \frac{1\,075{,}834\,8}{1\,072{,}20}$$

Omjer $\frac{x}{y}$ možemo sada odrediti po redoslijedu kako se iz brojčanog primjera jasno vidi:

$$1\,075{,}834\,8 - 1\,072{,}20 = 3{,}634\,8$$

$$1\,075{,}834\,8 : 3{,}634\,8 \approx 296 \cong x$$

$$1\,072{,}20 : 3{,}634\,8 \approx 295 \cong y$$

Slijedi:

$$\frac{x}{y} \cong \frac{296}{295}$$

$$i = \frac{119{,}537\,2}{214{,}44} \cong \frac{5}{9} \cdot \frac{296}{295} = \frac{5 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 37}{3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 59} = \frac{8 \cdot 37}{9 \cdot 59} = \frac{37 \cdot 40}{45 \cdot 59} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

Najbolje rezultate dobijemo ako pri dijeljenju s razlikom imamo troznamenkaste brojeve do veličine 600, čija razlika je jednaka 1. Ako dobiveni troznamenkasti brojevi nisu djeljivi, možemo ih pomicati naviše ili naniže, no to povećava grešku. Na primjer:

$$\frac{x}{y} \cong \frac{296}{295} \approx \frac{297}{296} \approx \frac{298}{297} \approx \frac{299}{298} \quad \text{itd. ili:}$$

$$\frac{x}{y} \cong \frac{296}{295} \approx \frac{295}{294} \approx \frac{294}{293} \approx \frac{293}{292} \quad \text{itd.}$$

Greška tako izračunatog prijenosa je:

$$F = \frac{i' - i}{i} \cdot 1\,000 \quad [‰]$$

gdje je i' ostvareni prijenos. Za naš primjer je:

$$i = \frac{119{,}537\,2}{214{,}44} = 0{,}557\,438\,91$$

$$i' = \frac{37 \cdot 40}{45 \cdot 59} = 0{,}557\,438\,79$$

$$F = \frac{0{,}557\,438\,79 - 0{,}557\,438\,91}{0{,}557\,438\,91} = -\,0{,}000\,215 \quad [‰]$$

Metoda traženja množenjem.

Primjer. Pri toj metodi neophodan je stroj za množenje i dijeljenje.

Neka je zadano:

$$i = \frac{59{,}768\,6}{85{,}259\,17} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

Tada je:

$$\frac{59{,}768\,6}{85{,}259\,17} = 0{,}701\,023\,1$$

To pomnoženo i podijeljeno sa $100 \cdot 100$ daje:

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{0{,}701\,023\,1 \cdot 100 \cdot 100}{100 \cdot 100} = \frac{7\,010{,}231}{100 \cdot 100}$$

Množimo li brojnik i nazivnik brojevima 0,80; 0,79; 0,78; 0,77 itd., dobivamo u brojniku 5 608,184 8; 5 538,082 5; 5 467,980 18 itd. Daljnjim množenjem tih vrijednosti ponovno brojevima 0,80; 0,79; 0,78 itd. dobit ćemo u određenom momentu broj koji ima oblik ...., 98 .... ; ili ...., 99 .... ; ili ...., 00 .... ; ili .... ; 0,1. .... U tom slučaju možemo vrijednosti iza decimalnog zareza zanemariti pa ako je broj djeljiv, imamo, kao što se vidi iz primjera:

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{7\,010{,}231}{100 \cdot 100} = \frac{7\,010{,}231 \cdot 0{,}77 \cdot 0{,}47}{100 \cdot 100 \cdot 0{,}77 \cdot 0{,}47} = \frac{2\,537{,}002\,598\,9}{47 \cdot 77} \approx \frac{2\,537}{47 \cdot 77} = \frac{43 \cdot 59}{47 \cdot 77}$$

Koji put možemo računanje olakšati upotrebom već određenih prijenosa za neke konstante. To je prikazano u tablici 3.

Prijenosi za neke konstante

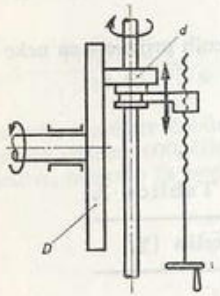
Tablica 3.

Konstanta	Približan prijenos	Greška [‰]
$\frac{\pi}{1''}$	$0{,}123\,684\,2 = \frac{47}{4 \cdot 95}$	− 0,005
π	$3{,}141\,592\,9 = \frac{5 \cdot 71}{113}$	+ 0,000 6
π	$3{,}141\,552\,5 = \frac{16 \cdot 43}{3 \cdot 73}$	− 0,013
π	$3{,}141\,666\,7 = \frac{13 \cdot 29}{4 \cdot 30}$	+ 0,024
$1''$	$25{,}400\,00 = \frac{127}{5}$	0
$1''$	$25{,}399\,543\,3 = \frac{89 \cdot 125}{6 \cdot 73}$	− 0,018
$1''$	$25{,}400\,843\,9 = \frac{7 \cdot 20 \cdot 43}{3 \cdot 79}$	+ 0,033
$\pi \cdot 1''$	$79{,}795\,918\,4 = \frac{10 \cdot 17 \cdot 23}{7 \cdot 7}$	− 0,007
$\pi \cdot 1''$	$79{,}797\,979\,8 = \frac{79 \cdot 100}{9 \cdot 11}$	+ 0,019

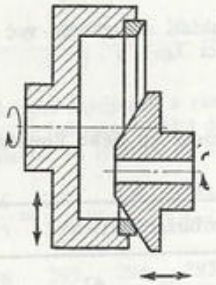
212.010.44 Mehanički bestepeni prijenosnici

Za kontinuiranu promjenu broja okreta služe bestepeni prijenosnici. Broj okreta može se izmijeniti pod opterećenjem pa se može primijeniti pri obrađivanju izratka raznih promjera ako je potrebno obradu izvršiti konstantnom brzinom.

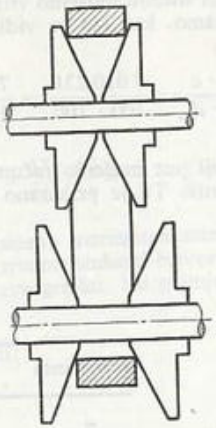
Mehaničke bestepene prijenosnike možemo podijeliti u tarne i prisilne. Postoji čitav niz izvedbi tarnih prijenosnika ㊳, ㊴ i ㊵, a svi oni rade na principu tarnog spoja velikog i malog kola te na mogućnosti kontinuirane izmjene zahvatnog promjera. Kod tih prijenosnika pod opterećenjem dolazi do relativnog klizanja pa su stoga tarne površine jako podložne habanju. Ako rad traje dulje, pri određenom prijenosu nastaje jače lokalno habanje pa se time gubi i točnost rada. Ti prijenosnici služe za prijenos uglavnom manjih snaga (do 8 KS), a prijenosni odnosi kreću im se maksimalno od 1 : 3 do 1 : 5.



㊳ Bestepeni prijenosnik

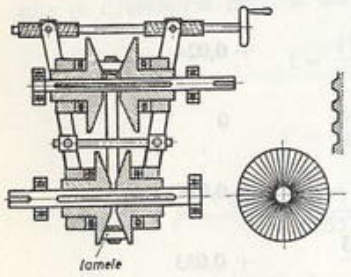


㊴ Bestepeni prijenosnik



㊵ Bestepeni prijenosnik

Prisilan bestepeni prijenosnik poznat je pod nazivom PIV-prijenosnik ㊶. Razlika je između tog prijenosnika i tarnog ㊵ u tome što su kod ovog diskovi remenice nazubljeni sitnim radijalnim utorima. Prijenosni lanac ima karike koje nose blokove tankih koničnih lamela pa se ove podese između utora na diskovima, čime se stvara prisilan pogon remenice. Maksimalan prijenosni omjer takvog prijenosnika iznosi 1 : 6. Svi tarni i prisilni prijenosnici prenose maksimalnu snagu pri najvećem broju okreta osovine u pogonu. Smanjivanjem broja okreta pada i snaga koja se prijenosnikom može prenijeti.



㊶ PIV — bestepeni prijenosnik

Broj okreta koji se prijenosnikom može regulirati pri broju okreta ulazne osovine n_0 iznosi (za jednake parove koničnih diskova):

$$n_{max} = n_0 \frac{d_{max}}{d_{min}} \quad \text{i} \quad n_{min} = n_0 \frac{d_{min}}{d_{max}}$$

pa je mjenjačko područje prijenosnika:

$$B_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \left(\frac{d_{max}}{d_{min}}\right)^2$$

Momenti koji se mogu prenijeti pri najvećoj sili u lancu F (ograničeno čvrstoćom) jesu:

$$M_{max} = F\frac{d_{max}}{2} = 71\,620\frac{P_{max}}{n_0} \quad \text{i} \quad M_{min} = F\frac{d_{min}}{2} = 71\,620\frac{P_{min}}{n_0}$$

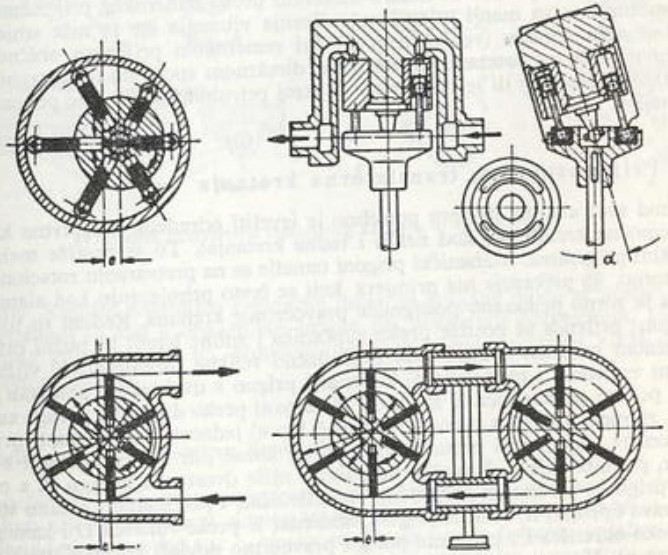
Iz toga slijedi da je:

$$\frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{d_{max}}{d_{min}} = \sqrt{B_n}$$

212.010.45 Hidraulički bestepeni prijenosnici

Hidraulički bestepeni prijenosnik za rotacijsko kretanje sastoji se od dviju regulacijskih pumpi, od kojih jedna djeluje kao pumpa, a druga kao motor. Regulacijske pumpe koje se upotrebljavaju za tu svrhu jesu aksijalne ili radijalne klipne pumpe ili pak krilne pumpe ㊷.

Sistem može raditi s otvorenim ili zatvorenim optokom. Pri otvorenom optoku pumpa siše ulje iz rezervoara i tlači ga u motor, iz kojeg izlazi opet u rezervoar. Pri zatvorenom optoku ulje cirkulira u smjeru pumpa-motor-pumpa.



㊷ Regulacijske pumpe: radijalna klipna, aksijalna klipna, krilna pumpa

Ulje koje se upotrebljava za hidraulične pogone ima viskozitet 2,5 do 4,5°E kod 50°C. Broj okreta regulira se promjenom ekscentriciteta na pumpi, motoru ili na objema, a kod aksijalnih klipnih pumpi promjenom kuta nagiba cilindarskog bloka. Kod hidrauličnih prijenosnika reverziranje se provodi prelaskom na negativan ekscentricitet. Promjenom ekscentriciteta pumpe postiže se regulacija broja okreta pri konstantnom momentu motora. Promjenom ekscentra motora postiže se regulacija broja okreta pri konstantnoj snazi. Promjenom ekscentra na pumpi i motoru proširuje se dijapazon regulacije i praktički iznosi 10 do 16. Iskoristivost takvog prijenosnika je oko 0,7.

212.010.46 Električki prijenosnici i pogon

Pogon se alatnim strojevima daje posebnim elektro-motorima. Redovito su to asinhroni motori normalne ili specijalne izvedbe, posebno balansirani. Normalni kratko spojeni motori imaju polazni moment 3,5 puta veći od normalnog, struja ukopčavanja veća im je 6 do 7 puta. Kod specijalnih motora (dvostruki kavez ili kavez s povećanim otporom) polazni moment je 6 do 7 puta veći pri struji uključivanja od svega 4 do 5 puta većoj od normalne.

Broj okreta elektro-motorom može se u skokovima birati asinhronim motorom pomoću promjene broja polova. Najčešće se upotrebljavaju motori sa dvije brzine, dok je motor sa tri ili četiri brzine već skuplji od zupčanog prijenosa.

Bestepena regulacija postiže se upotrebom istosmjernog motora. Promjenom jačine uzbudnog magnetskog polja regulira se broj okreta pri konstantnoj snazi u granicama od 3 do 4 puta. Promjenom napona na kotvi regulira se broj okreta pri konstantnom momentu. To se kombinira pa se niži brojevi okreta reguliraju pri konstantnom momentu, a viši pri konstantnoj snazi. Istosmjeran usporedni elektro-motor u Ward-Leonardovu spoju omogućava ukupnu regulaciju broja okreta u području od 10 do 20. U novije vrijeme razvijeni su uređaji za elektronsku regulaciju broja okreta istosmjernih motora u opsegu čak do 1 : 50. Ti uređaji su pogodni za daljinsko i programsko upravljanje alatnim strojevima.

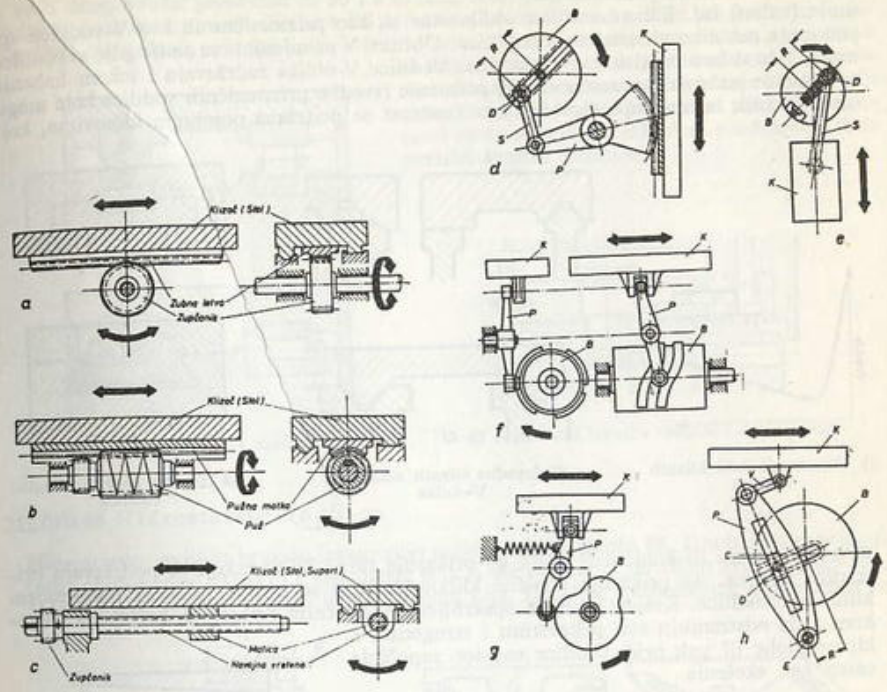
Pogon alatnog stroja postiže se elektro-motorom preko remenskog prijenosa ili direktno. Elektro-motor ima to manji utjecaj pobudivanja vibracija što je niže smješten ili ako je na posebnom temelju (veliki strojevi). Pri remenskom prijenosu obično se smješta na podesivu ploču za natezanje remena. Pri direktnom spoju on je sastavni dio radnog vretena (neke brusilice) ili je priključen na stroj prirubnicom pa daje pogon preko elastične spojke.

212.010.47 Prijenosnici za translatorna kretanja

Gotovo kod svih alatnih strojeva potrebno je izvršiti određena pravocrtna kretanja (redovito pomoćna kretanja, a kod nekih i radna kretanja). To se postiže mehaničkim ili hidrauličkim prigonima. Mehanički prigoni temelje se na pretvaranju rotacionog kretanja u translatorno. ⑬ prikazuje niz primjera koji se često primjenjuju kod alatnih strojeva na kojima je zorno prikazano postignuće pravocrtnog kretanja. Redom su to: a) zupčanički prigon; prijenos se postiže preko zupčanika i zubne letve; b) pužni prigon, s pužem i pužnom motkom (pužno kolo beskonačno velikog promjera); c) vijčani prigon, s navojnim vretenom i maticom; d) koljenasti prigon s dvokrakom polugom; rotacijom ekscentra podiže se stapajica S za put 2 R, a ovaj preko dvokrake poluge zubnim segmentom i zubnom motkom prenosi na klizač K; e) jednostavni koljenasti prigon, rotacijom ekscentra stapajica S prenosi direktno na klizač put 2 R; f) prigon s krivuljom na bubnju, putanja žlijeba (krivulja) na bubnju njiše dvostruku polugu P, a ona povlači klizač; g) prigon s pločastom krivuljom, rad identičan s prethodnim, jedino što povratni hod osigurava opruga; h) kulisni prigon, ekscentar B preko rukavca D i kamena C njiše polugu P oko okretišta E; pri tome poluga pravocrtno povlači klizač K preko kompenzacione poluge V.

Kod mehaničkih prigona za translatorna kretanja promjena brzine (stupnjevanje) postiže se promjenom broja okreta elementa rotacije ili promjenom nagiba krivulje kod krivuljnih sistema.

Fina regulacija brzine u širokom dijapazonu na jednostavan način postiže se hidrauličkim prijenosnicima. Kod hidrauličkih sistema elementi za pravocrtno kretanje redovito su cilindar i klip, a upotrebljavaju se za pomoćne i za radne pogone. Za posmično translatorno kretanje služi koji put rotacioni hidromotor za pokretanje sistema vijčanog vretena s maticom. Hidraulični prigoni za translatorna kretanja osim cilindra i klipa imaju kao osnovne elemente pumpu s konstantnom dobavom i ventilima za regulaciju količine ili regulacijsku pumpu, zatim komandne ventile za prekret, kao i pretlačne i po-



⑬ Sistemi pretvaranja rotacijskog kretanja u translatorno

vratne ventile. Raznim sistemima regulacije dobavne količine može se postići rad konstantnom brzinom ili rad s opadanjem brzine pri povećanju opterećenja. Upotrebom diferencijalnog klipa postiže se, proporcionalno smanjenju površine klipa, povećanje brzine povratnog hoda.

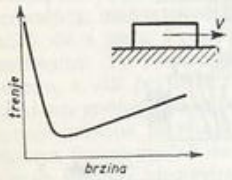
212.010.5 Vodilice za pravocrtna kretanja

Vodilice su elementi koji moraju osigurati paralelnost vođenja, npr. suporta po krevetu, pa stoga bitno utječu na točnost alatnog stroja. Osim visoke točnosti vođenja, one treba da udovolje uvjetima kao što su: 1. visoka otpornost prema habanju (održavanje točnosti); 2. nizak i što konstantniji koeficijent trenja pri različitim pogonskim uvjetima; 3. ne smije doći do zaribavanja ni ako izostane podmazivanje. Vodilice se grade kao klizne, s kotrljanjem i kao hidrostatske.

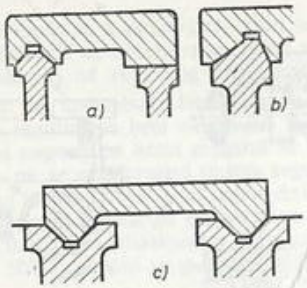
212.010.51 Klizne vodilice

Ravne plohe su gotovo redoviti elementi kliznih vodilica. Površine ovih najčešće kližu s malim brzinama pa nastupa granično, polusuho i kod nekih vodilica tekuće trenje. Tok trenja u zavisnosti od brzine prikazuje ⑭. Zbog tako nepovoljne karakteristike treba posebnu pažnju posvetiti biranju materijala koji se pari u vodilicama. Materijali za vodilice obično su: lijevano željezo — lijevano željezo; kaljeno lijevano željezo — lijevano željezo; kaljeni čelik — lijevano željezo; lijevano željezo ili kaljeni čelik — plastične

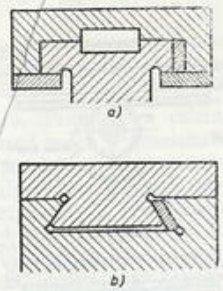
mase (teflon) itd. Klizne vodilice oblikovane su kao prizmatične ili kao V-vodilice. ⑮ prikazuje nekoliko alternativa V-vodilica. Obrnuti V primjenjuje se ondje gdje se vodilice mogu vrlo dobro zaštititi od strugotina. Vodilice V-oblika zadržavaju i tokom habanja sposobnost vođenja bez zračnosti. ⑯ prikazuje izvedbe prizmatičnih vodilica koje mogu imati i oblik lastina repa (izvedba b). Zračnost se podešava posebnim klinovima, koji



⑭ Tok trenja kod kliznih vodilica

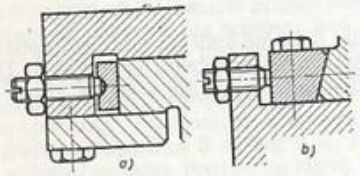


⑮ Izvedbe kliznih vodilica V-oblika

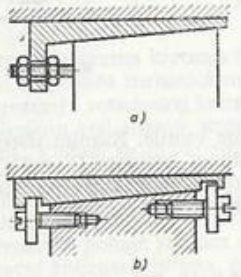


⑯ Izvedbe plošnih kliznih vodilica

mogu biti ravni ili konični (1 : 50). ⑰ prikazuje ravne klinove koji se podešavaju priteznim vijcima. ⑱ prikazuje konične klinove kojima se justira zračnost pomicanjem klina duž vodilice. Krajevi vodilica opskrbljeni su limenim brisačima, koji treba da tokom rada odstranjuju svu prljavštinu i strugotinu s klizne plohe ili pak brid vodilice saonice započinje oštro bez skošenja.



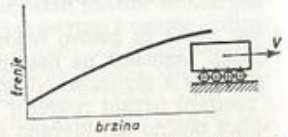
⑰ Podešavanje zračnosti ravnim klinom



⑱ Podešavanje zračnosti koničnim klinom

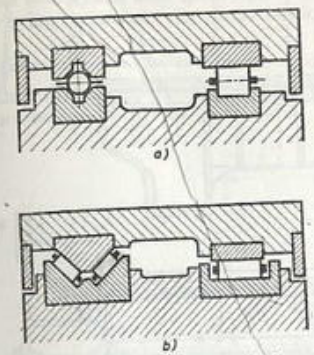
212.010.52 Vodilice s kotrljanjem

Vodilice s kotrljanjem imaju prednost prema kliznima zbog male razlike u trenju mirovanja i kretanja ⑲. Mana im je malo gušenje oscilacija. Izvode se kao vodilice s velikim valjcima uležištenim na kotrljajućim ležajima; vodilice s trakom, letvom ili lancem kao kavezom za valjčiće, kuglice ili igličaste valjane elemente i kao vodilice s elementima za povratno vođenje valjčića ili kuglica. S velikim valjcima rijetko se izrađuju jer je potrebna visoka točnost izrade i velika čistoća. Vodilice s ravnim kavezom su najjednostavnije izvedene vodilice s kotrljanjem ⑳. Kotrljajuća tijela valjaju se na kaljenim i brušenim letvama vodilica plošnog ili V-oblika. U križnom poretku je

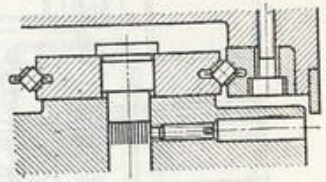


⑲ Tok trenja kod vodilica s kotrljanjem

svaki drugi valjčić zaokrenut za 90°, a to je rješenje pogodno za prihvat sila u dva međusobno okomita smjera. Pri izvedbi s ravnim kavezom ovaj putuje pri kretanju i prevaljuje put jednak polovini hoda saonica. Vrlo su pogodne i sigurne u radu, a pogotovo za dugačke hodove saonica, izvedbe sa segmentnim elementima za povratno vođenje kotrljajućih elemenata ㉑. S konstrukcijom za justiranje zračnosti može se podesiti određeni prednapon i time povisiti krutost vodilice.



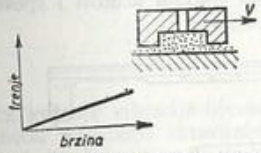
⑳ Izvedbe vodilica s kotrljanjem



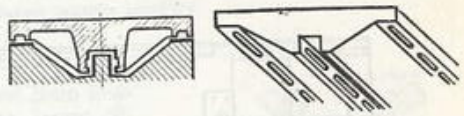
㉑ Segmentna izvedba vodilica s kotrljanjem

212.010.53 Hidrostatske vodilice

Hidrostatske vodilice pružaju izvanredno malen otpor kretanju ㉒. Izborom konstrukcije (npr. obuhvaćene vodilice) i viskoziteta ulja može se postići dovoljno krut sistem. Kod hidrostatskih vodilica saonice lebde na sloju ulja. Da zbog asimetričnog opterećenja ne

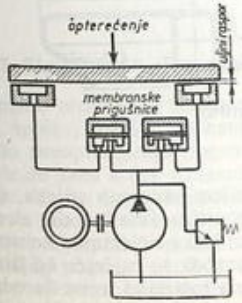


㉒ Tok trenja kod hidrostatske vodilice

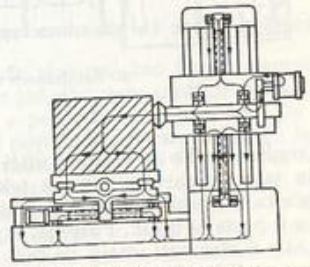


㉓ Izvedba hidrostatske vodilice

bi došlo do metalnog dosjeda, saonice imaju duž vodilice niz dženova ㉓, a svaki je opskrbljuje tlačnim uljem iz vlastite pumpe ili preko kapilare ili regulacione prigušnice (membranske). Shematski je to prikazano na ㉔. Kod tih vodilica dolazi do metalnog nalijeganja kad prestane opskrba vodilica tlačnim uljem, pa je prije puštanja stroja u rad potrebno pustiti u rad i pumpu za opskrbu vodilica.



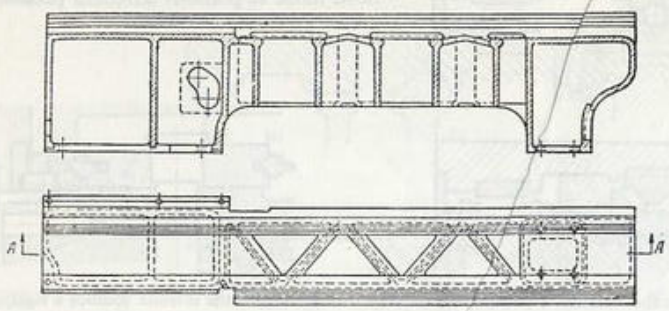
㉔ Princip rada hidrostatske vodilice



㉕ Tok sila na alatnom stroju

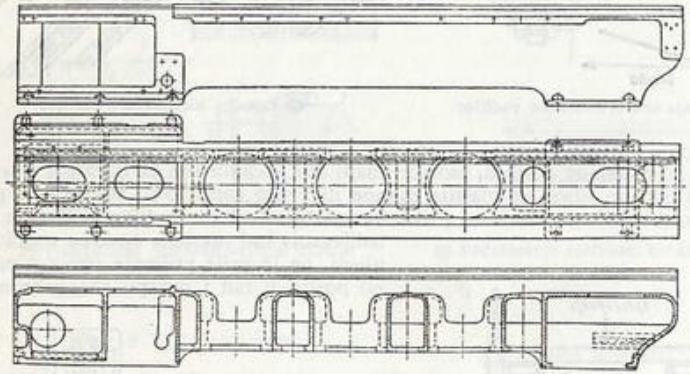
212.010.6 Postolja, kućišta, kreveti i dr.

Postolja, kućišta, kreveti, stolovi, stupovi, konzole itd. jesu elementi alatnih strojeva koji čine osnov stroja, nose elemente kinematike i zatvaraju krug toka sila (težina izratka, sile nastale procesom obrade) ⑤⑦. Konstrukcija i oblikovanje tih elemenata ovise o na-



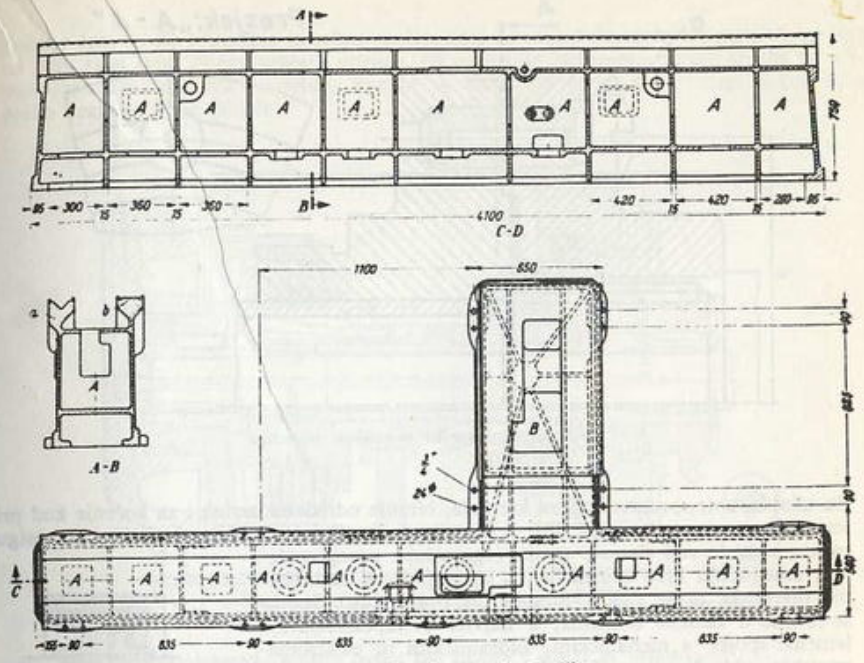
⑤⑥ Rešetkasto urebrenje kreveta tokarilice

mjeni stroja, a moraju omogućiti postizanje točnosti obrade izratka i kvalitete površine, dobro odvođenje strugotine, lagan pristup i manipuliranje izratkom te povoljan radni prostor. Dimenzioniranje se ne provodi s obzirom na čvrstoću upotrijebljenog materijala već s obzirom na dopuštenu deformaciju, odnosno traženu krutost i sposobnost



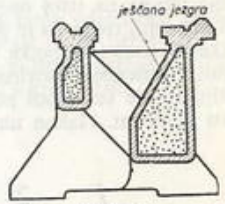
⑤⑦ Sandučasto urebrenje kreveta tokarilice

gušenja oscilacija. To se može postići pogodnim urebrenjem osnovnih stijena. ⑤⑥ i ⑤⑦ prikazuju takvo urebrenje kreveta tokarilice. Osobito pogodna izvedba tih elemenata je sandučasta konstrukcija (⑤⑧ prikazuje postolje brusilice) kao i cjelokupna konstrukcija zatvorena u portalni oblik. Postolja, kućišta, kreveti itd. izvode se najčešće od lijevanog željeza. Ako ti elementi imaju na sebi klizne vodilice, tada materijal treba da odgovara zahtjevima vodilica (tvrdoća 220 po Brinellu, mogućnost kaljenja itd.). U svrhu što



⑤⑧ Sandučasto urebrenje postolja brusilice

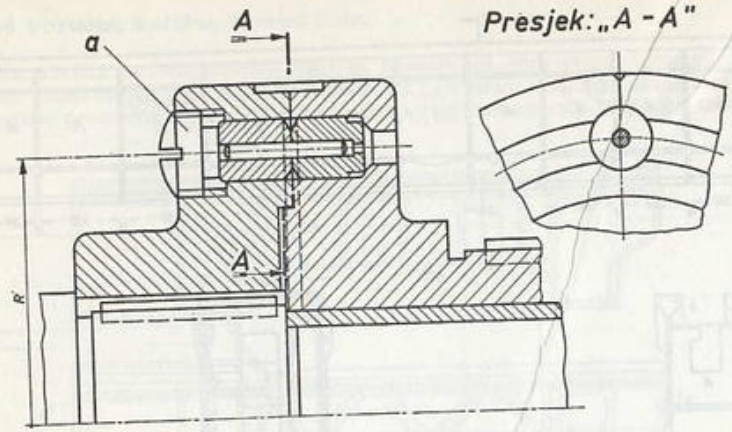
boljeg gušenja vibracija lijevani elementi često imaju među stijenama ostavljene pješčane jezgre ⑤⑨. Pri pojedinačnim izvedbama alatnih strojeva postolja se, kućišta itd. često grade u zavarenoj izvedbi. Konstrukcija treba da je u tom slučaju posebno kruto izvedena da se postigne dovoljan efekt gušenja vibracija jer čelik ima manju sposobnost prigušivanja od liva. Elementi na kojima je predviđeno upinjanje izratka (stolovi, temeljne ploče itd.) izvedeni su sa »T«-utorima za smještaj steznih vijaka.



⑤⑨ Ostavljena pješčana jezgra u krevetu tokarilice kao gušitelj vibracija

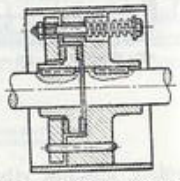
212.010.7 Sigurnosni elementi, spojke, kočnice, mehanizmi za upravljanje

Za sigurno obavljanje funkcije alatnog stroja služe elementi kao što su sigurnosni elementi, spojke, kočnice, mehanizmi za upravljanje itd. Pri radu može iz mnogih razloga doći do preopterećenja pogonskog mehanizma, a pogotovo kod posmika. Da pri tom ne dođe do loma kojeg elementa, obvezatno se na povoljnom mjestu ugrađuje sigurnosni element. To su najčešće spojke u izvedbi s odreznim zatikom ili frikcijska ili kandžasta spojka za preopterećenje. Spojka s odreznim zatikom ⑥⑩ izvedena je s kaljenim čepovima, koji pri prekoračenju maksimalno dopuštenog momenta prerežu zatik pa se time prekine daljnji pogon. Frikcijska ⑥① ili zupčasta spojka ⑥② ima tu prednost što odmah nakon pada opterećenja stroj može nastaviti rad, a dopušteni prijenosni moment regulira se prednaponom opruge.

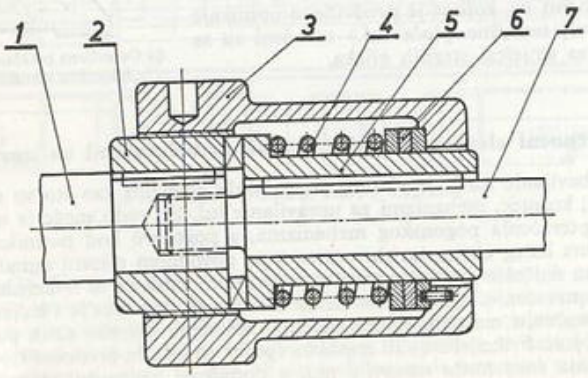


60 Sigurnosna spojka sa zatikom na odrez

Za ukopčavanje, prekret smjera kretanja, biranje određene brzine i za kočenje kod prijenosnika za glavna kretanja služe frikcione spojke. Osim navedene funkcije i one osiguravaju siguran rad alatnog stroja (ograničuju preopterećenje, omogućuju brzo zaustavljanje, lagan polazak, iskorištenje inercijske mase elektro-motora pri pokretanju). Spojke se izvode u raznim oblicima, a najviše se upotrebljavaju lamelne spojke s mehaničkim, hidrauličkim ili elektromagnetskim uključivanjem. Lamelne spojke služe također kao kočnice. Pri biranju broja okreta s elektromagnetskim spojkama upotrebljavaju se spojke, na primjer, za dva razna broja okreta na istoj osovini, kao kočnica za radno vreteno. Pri kočenju, treba da je pogon na tu osovinu isključen. 63 prikazuje lamelne spojke primijenjene kao spojke za uključivanje prijenosa osovina — zupčanik i druga kao kočnica. Uključivanje se izvodi polužjem i prstenom preko dvokrake poluge. Justira se posebnom maticom. Nakon uključivanja spojke nije potrebna vanjska sila za održavanje uk-

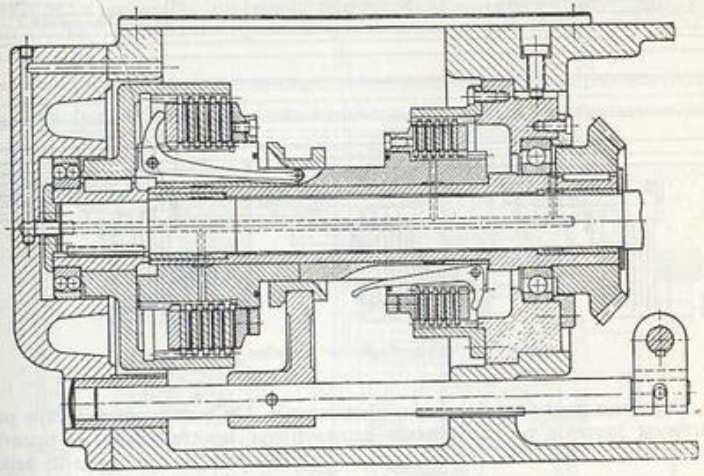


61 Frikcijska sigurnosna spojka



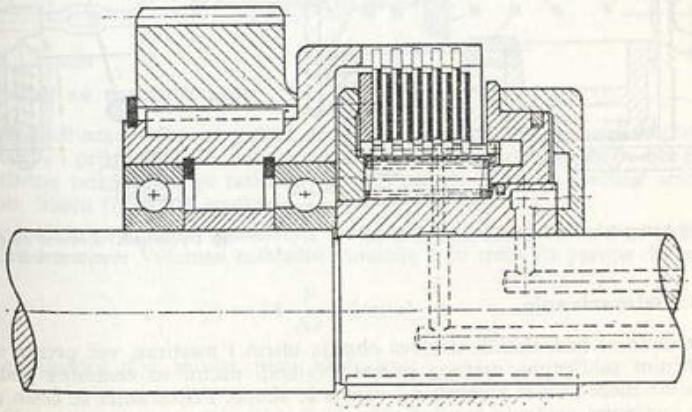
62 Kandžasta sigurnosna spojka

ljučene spojke. 64 prikazuje lamelnu spojku koja se uključuje djelovanjem tlačnog ulja na prstenasti stap. Njega vraćaju opruge. 65 prikazuje elektromagnetske spojke za prijenos rotacije zupčanik—osovina. Spojka se uključuje zatvaranjem magnetskog toka preko krajnje deblje lamele.

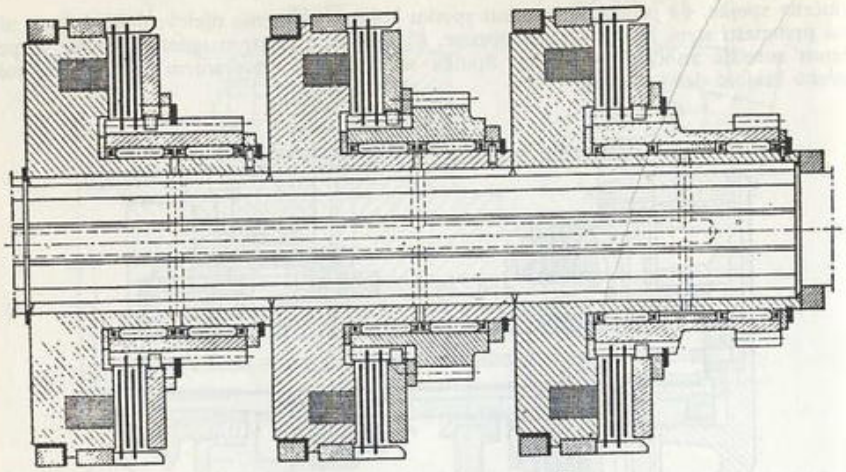


63 Mehaničke lamelne spojke, kao kočnica i spojka za uključivanje

Sigurnost radu daju i razne brave za osiguranje ukopčavanja samo određenog kretanja, tj. sprečavaju istodobno ukopčavanje dvaju raznih posmika ili dviju brzina itd. Vrlo često se ukopčavanje izvodi prebacivanjem sloga zupčanika u drugi zahvat polugama, krivuljama itd. 66 prikazuje uređaj za prebacivanje zupčanika s krivuljama, čime je isto-

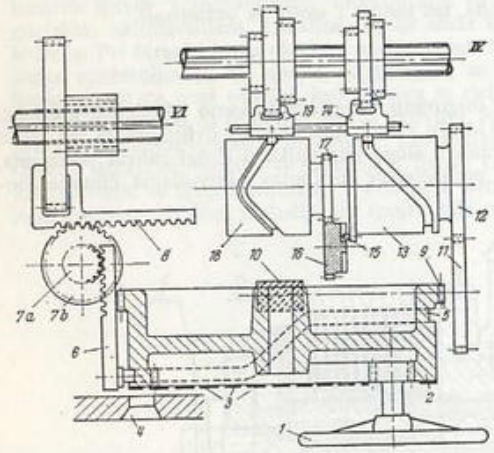


64 Lamelna spojka s hidrauličnim uključivanjem

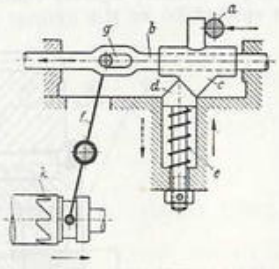


⑥3 Elektromagnetske lamelne spojke

dobno isključeno pogrešno dvostruko ukopčavanje. Da u mrtvom položaju pri prekretu translatornog kretanja ne bi došlo do zaustavljanja, upotrebljavaju se upravljački elementi, npr. kako to prikazuje ⑥7 s oštricom za prebacivanje (d, c) i slobodnim hodom (g), koji dopušta prelazak oštrica međusobno, a nakon toga kosine i opruga osiguraju prekret.



⑥6 Mehanizam za uključivanje zupčanika

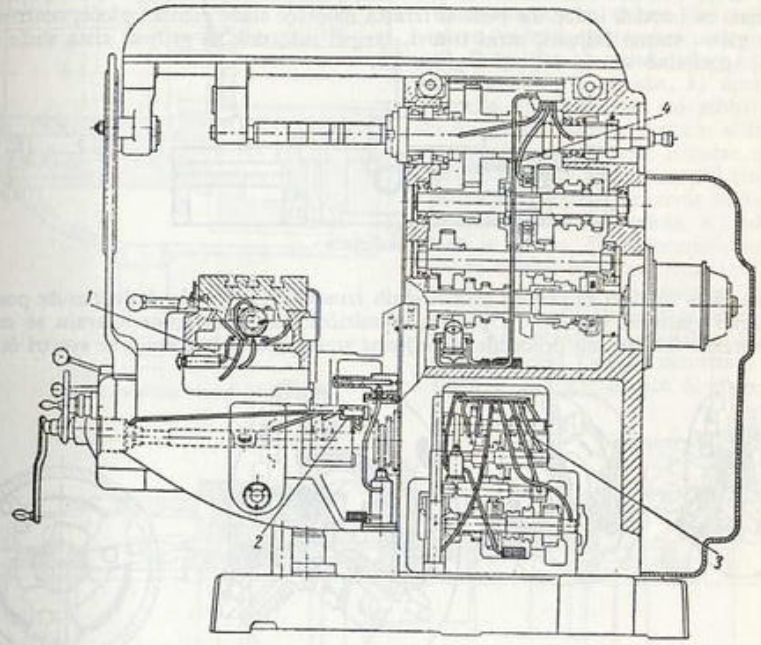


⑥7 Upravljački element za prebacivanje u mrtvoj točki

212.010.8 Podmazivanje

Podmazivanje se kod alatnih strojeva obavlja uljem i mastima, već prema mogućnosti i specifičnim zahtjevima maznog mjesta. Najbolji načini su centralna podmazivanja, no to se ne može uvijek provesti a i veoma je skupo. Prijenosnici se često podmazuju tako da zupčanici najdonje osovine zahvaćaju u ulje i rasprskuju ga po cijelom prijenosniku. Na vrhu se može staviti tava, iz koje se tada ulje cijedi u nepristupačna mjesta.

⑥8 prikazuje takav sistem podmazivanja u vreteništu (4). Za podmazivanje uronjavanjem i prskanjem obodna brzina zupčanika ne smije prijeći 15 m/s, već u tom slučaju treba da se ulje štrca u zupčani zahvat pod tlakom. Ako brzine za raspršivanje ulja nisu dovoljne, treba podmazivanje izvršiti dovodom ulja s pumpom (⑥8 prijenosnik posmika 3). Vodilice i ostala mjesta podmazuju se dovodom ulja iz mazalica, ručnih pumpi ili pumpi s mehaničkim pogonom. Na ⑥8 se vodilice stola (1) podmazuju ručnom pumpom, a konzola (2) pumpom na mehanički pogon. Na kliznim vodilicama izraduju se kanali za podmazivanje.



⑥8 Podmazivanje glodalice

212.010.9 Uređaji za rashlađivanje

Uređaji za rashlađivanje obično su pribor uz stroj. Sastoje se od rezervoara za rashladnu tekućinu, pumpe i prikladnog cjevovoda za dovod rashladnog sredstva do mjesta obrade. U novije vrijeme primjenjuju se rashladni uređaji za vrlo efikasno hlađenje sredstvom u raspršenom stanju (hlađenje maglom).

Pumpa se određuje za količinu rashladnog sredstva koje je potrebno da preuzme razvijenu toplinu rezanjem. Volumen rashladne emulzije koju treba da pumpa dobavi jest:

$$Q_e \approx 14 \frac{P}{\Delta t} \quad [\text{l/min}]$$

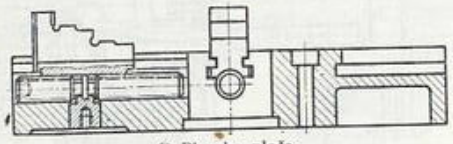
a volumen rashladnog ulja, ako se njime hladi, jest:

$$Q_u \approx 35 \frac{P}{\Delta t} \quad [\text{l/min}]$$

Razlika u volumenu dolazi od razlike specifičnih toplina. U navedenim izrazima je P — snaga rezanja u kW, a Δt — prirast temperature rashladnog sredstva i obično se kreće: $\Delta t = 15$ do 25°. Rezervoar se dimenzionira toliko da se rashladno sredstvo uspije ohladiti. Izgrađuje se često s pregradama za taloženje prljavštine, a za brusilice sa specijalnim filtrima (magnetski filtri).

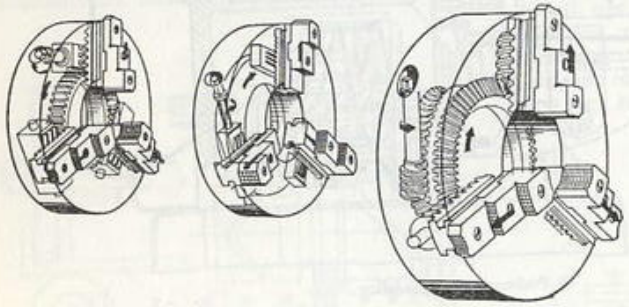
212.011.0 Prihvatni elementi za izradak i alat

Alatni strojevi su kao redovitim i izvanrednim priborom opskrbljeni nizom prihvatnih elemenata za izradak i alat. Za prihvat izratka najčešće služe planske ploče, centrirajuće stezne glave, stezne čeljusti, razni trnovi, škripci itd., dok za prihvat alata služe razni trnovi, specijalne stezne čeljusti i glave itd.

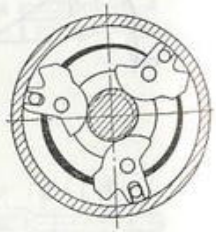


69 Planska ploča

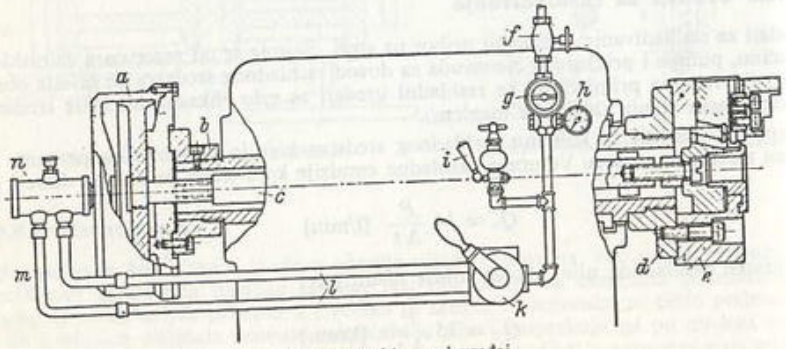
Planska ploča 69 služi za prihvat asimetričnih izradaka jer se svaka čeljust može posebno podešavati vlastitim vijkom. Za prihvat cilindričnih izradaka upotrebljavaju se centrirajuće stezne čeljusti. 70 prikazuje tročeljusne stezne glave, kod kojih se sve tri čeljusti



70 Samocentrirajuće stezne glave

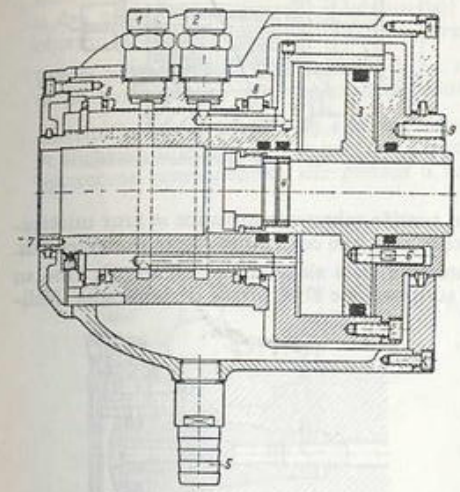


71 Brzostežuća mehanička stezna glava

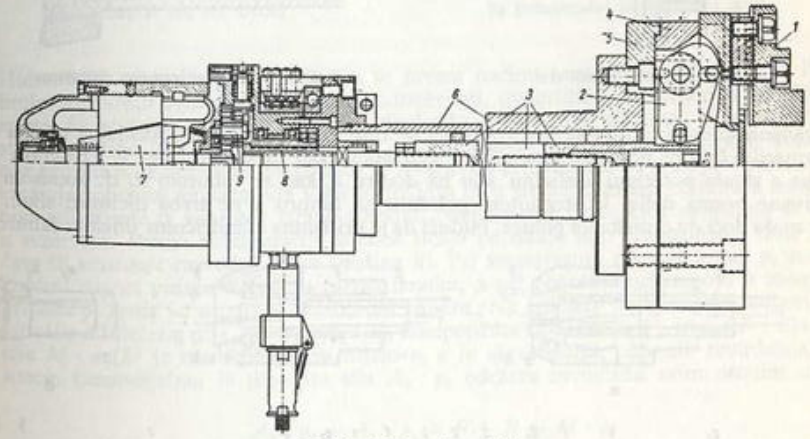


72 Pneumatski stezni uređaj

stežu istodobno, npr. pokreće ih kosa zubna letva preko centralnog zupčanika. Pri tome jedan od tangencijalnih segmenata pokreće zupčanik, a njega samog pomiče vijak. 71 prikazuje mehaničku brzostežuću glavu kod koje se izradak steže sa tri ekscentrična elementa. Izradak je pri tome stegnut to jače što je veći zakretni moment. Vrlo brzo i pouzdano stezanje postiže se pneumatskim, hidrauličkim ili električkim steznim uređima. 72 prikazuje pneumatski uređaj koji se (prema oznakama na slici) sastoji od ovih dijelova: a) rotirajućeg tlačnog cilindra, b) prirubnice, c) stezne motke s klipom, d) prirubnice za steznu glavu, e) stezne glave (vučni konusi pokreću stezne čeljusti), f) ventila, g) redukcijskog ventila, h) manometara, i) uljenke, k) upravljačkog ventila, l) cjevovoda, m) gibljive cijevi, a n) je ulaz tlačnog zraka u cilindar. 73 prikazuje presjek kroz cilindar za hidrauličko stezanje i dio za ulaz i izlaz ulja u rotirajući cilindar. Pri tome je 3 klip koji povlači motku za stezanje, a 5 odvod ulja koje je isteklo. 74 prikazuje stezanje pomoću elektro-motora. Ovdje ima elektroimotor aksijalno pomični rotor 7, koji, kad se isključi krug struje pod silom opruge, tlači na kočnicu, a aksijalno daje pogon steznoj motki 3 preko planetnog prijenosnika 9 i stezne matice 8.



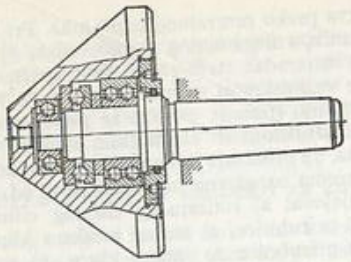
73 Hidraulični stezni cilindar



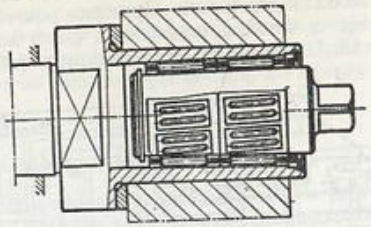
74 Električki stezni uređaj

Za centriranje izratka služe čvrsti ili rotirajući šiljci. 75 prikazuje presjek kroz rotirajući šiljak za centrično vođenje velikih otvora.

Osim normalnih cilindričnih dugih i kratkih trnova često se kao pribor nalaze i posebni trnovi s mogućnošću točnog centriranja i stezanja. 76 prikazuje trn s iglicama smještenim u kavez pod kutom oko 5°. Zakretanjem koničnog čepa valjčići se penju na veći promjer trna (zbog kosog položaja u kavezu) i deformiraju vanjsku čahuru, čime se izradak steže. 77 prikazuje ekspanzijski trn kod kojeg tlačno ulje ili neka plastična masa

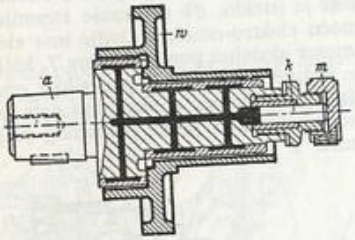


75 Šiljak za centriranje šupljih izradaka

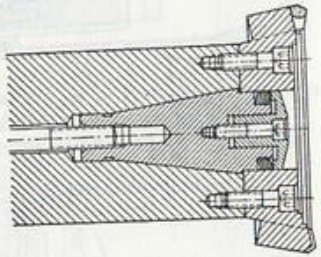


76 Stezni trn s koso smještenim iglicama

(crno) deformira steznu čahuru. Pritisak se postiže zakretanjem matice m kroz utiskivanje klipa k. 78 prikazuje trn s tanjurastim oprugama kao centrirnim i steznim elementom. Za stezanje šipkastog materijala, pa i za stezanje alata služe stezne čahure 79. One su izradene tankostijeno i na nekoliko mjesta su prorezane zbog lakšeg deformiranja. Nali-

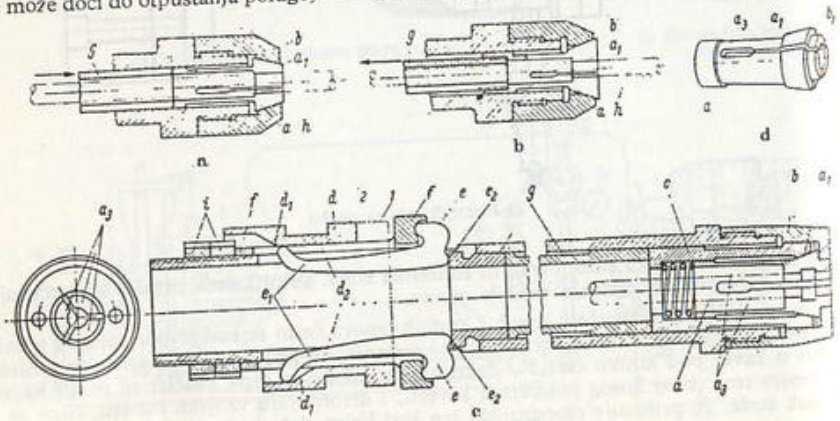


77 Hidraulični stezni trn



78 Stezni trn s tanjurastim oprugama

jeganjem konusa čahura se deformira pa se time postiže stezanje. Aksijalna sila za deformaciju čahure postiže se polužnim sistemom kako prikazuje crtež c. Dvokraka poluga e stvara potrebnu aksijalnu silu na dodiru e_2 kad se čahurom d, tj. konusom d_1, pritisne prema dolje. U stegnutom položaju na čahuru d ne treba djelovati silom jer ne može doći do otpuštanja poluge, budući da je pritisnuta cilindričnim dijelom čahure d_2.



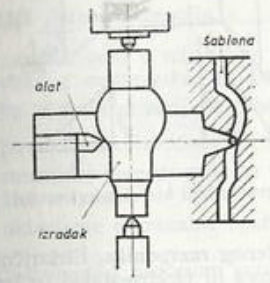
79 Stezne čahure

212.011.1 Uređaji za kopiranje

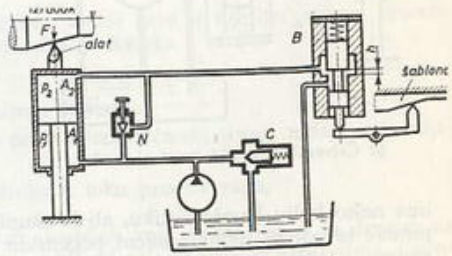
Alatni strojevi često imaju uređaje za kopiranje, čime se stroj osposobljuje za djelomičnu automatizaciju radnog procesa. Kopirni uređaji izvode se za kopiranje u jednom ili u dva smjera. Najčešći su kopirni uređaji na tokarskim strojevima pa ćemo na njima objasniti princip rada (jedan smjer kopiranja).

Prema načinu rada kopirni uređaji dijele se na mehaničke, hidrauličke, elektrokopirne te na kombinirane elektrohidrauličnе, hidropneumatske uređaje itd.

Mehanički kopirni sistemi 80 vrlo su jednostavni. Alat je voden direktno šablonom koja je žljebasta ili je čep (ticalo) prati pod opterećenjem opruge. Šablona je kod tih sistema opterećena komponentom sile rezanja u smjeru kopiranja.



80 Mehanički kopirni uređaj



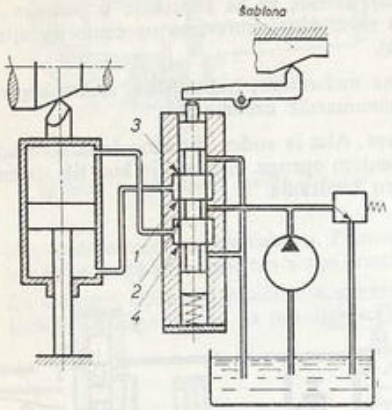
81 Jednobridni hidrokopirni uređaj

Hidraulički kopirni sistemi razlikuju se prema načinu razvođenja tlačnog ulja. Prema broju razvodnih bridova razlikuju se jednobridni, dvobridni i četverobridni kopirni sistemi. 81 prikazuje načelnu shemu jednobridnog kopirnog sistema. Pumpa dobavlja stalnu količinu ulja, koje dijelom ističe kroz predtlačni ventil C za održavanje konstantnog pritiska p_1. Konstantna prigušnica N stvara pad pritiska ulja od p_1 na p_2. Prema smjeru kretanja kopirnog suporta ulje ulazi u prednju ili u stražnju stranu cilindra a istodobno biva istiskivano iz suprotne strane cilindra. Nadalje ulje ističe kroz razvodnik B nazad u rezervoar. Prema konfiguraciji šablone ticalo potiskuje klip razvodnika i time povećava ili smanjuje razvodni otvor (dužina h). Pri smanjivanju raspora h tlak p_2 raste pa kopirni suport putuje u smjeru prema izratku, a pri povećavanju raspora h zbog pada pritiska p_2 kreće se suport u suprotnom smjeru. Na cilindar (hidrokopirni suport) djeluju sile od tlačnog ulja $A_1 \cdot p_1$ i $A_2 \cdot p_2$, komponenta sile rezanja F, trenje R i sila inercije $M \cdot a$ (M je masa pokretnih dijelova, a je akceleracija, odnosno retardacija). Taj sistem karakteriziran je time što sila $A_2 \cdot p_2$ održava ravnotežu svim ostalim silama:

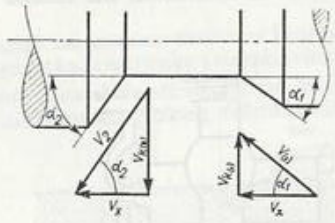
$$A_2 \cdot p_2 = A_1 \cdot p_1 + F \pm R \pm M \cdot a$$

tj. kopiranje se postiže regulacijom pritiska p_2. 82 prikazuje shemu četverobridnog kopirnog sistema. Pumpa dobavlja stalnu količinu ulja, koje ulazi direktno u razvodnik, a dijelom se kroz predtlačni ventil vraća u rezervoar. Prema položaju razvodnika ono protječe kroz razvodne otvore 1 ili 2 u prednju ili stražnju stranu cilindra, a iz suprotne strane cilindra ulje biva istiskivano kroz razvodne bridove 3 ili 4 nazad u rezervoar. I pri tom sistemu šablona preko ticala pokrene razvodnik u položaj koji odgovara takvom protjecanju tlačnog ulja da se uspostavlja brzina kopirnog suporta v_k. Ta brzina s brzinom posmika v_x rezultira u apsolutnu brzinu alata v, koja je paralelna s kopiranom konturom šablone 83. Pri kutu šablone $\alpha = 0$ razvodnik se nalazi u srednjem položaju pa

ulje ne ulazi niti izlazi iz cilindra, te je $v_k = 0$ i uređaj obrađuje površinu paralelno s posmikom. Kod kopirnih uređaja razvodnik se mora pomaknuti za određenu vrijednost da bi se svladala sila trenja, tj. da bi se mogao pokrenuti kopirni suport. Taj mrtvi hod pri promjeni smjera kretanja unosi stanovitu grešku na izradak, a ona je uočljiva, na primjer, kod tokarskih kopirnih uređaja za necilindrično kopiranje kao greška oblika. Jednobridni kopirni uređaj veoma je stabilan i jednostavan, dok, na primjer, četverobridni

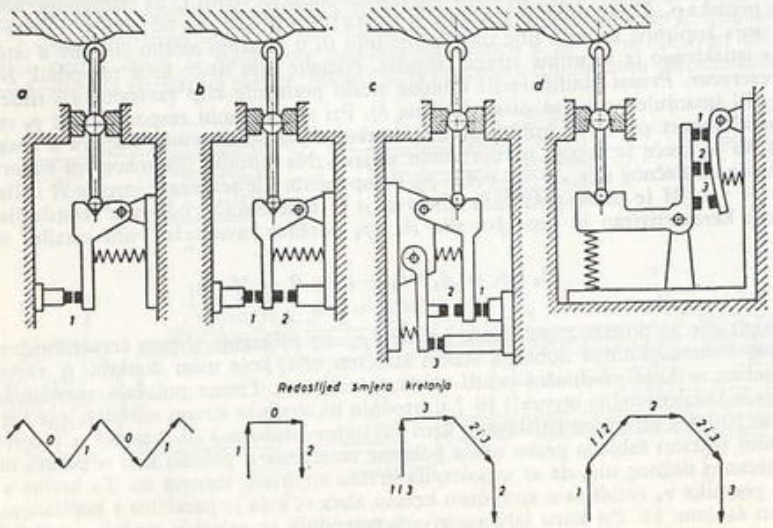


Četverobridni hidrokopirni uređaj



Četverobridni hidrokopirni uređaj

ima nešto bolju karakteristiku, ali je skuplji zbog složenog razvodnika. Električno kopiranje izvodi se uključivanjem pogonskih elektro-motora ili elektro-spojki (u jednom smjeru — smjer prema šabloni ili dva smjera — smjer posmika i smjer prema šabloni). To uključivanje provodi se putem ticala preko kontakata. 84 prikazuje nekoliko izvedbi ticala s raznim brojevima kontakata. O broju kontakata ovisi i putanja vrha alata. Izvedba *a* s jednim kontaktom ima kontinuiran posmik nezavisan od kopirnog uređaja. Uključeni kontakt 1 primiče ticalo k šabloni, a isključeni ga udaljuje od nje. Smjer kretanja, prikazan je na slici dolje. Izvedba *b* ima dva kontakta, odnosno tri stanja. Pri uključenom



84 Ticalo elektrokopirnog sistema

kontaktu 1 ticalo se primiče šabloni. Pri određenom pak dodiru ticala sa šablonom kontakt se razdvaja, a time se uključuje uzdužni posmik. Jačim dodirom ticala sa šablonom uključuje se kontakt 2, pa se time uključuje kretanje od šablone, a isključuje uzdužno. Izvedba *c* ima tri kontakta. Kad se uključe kontakti 1 i 3, uređaj se kreće prema šabloni. Pri određenom dodiru otvara se kontakt 1 i zaustavlja se poprečno kretanje, a uključuje uzdužno. Uz jači dodir ticala sa šablonom uključuje se kontakt 2, čime je sada uključeno uzdužno i poprečno povratno kretanje, pa se alat pod stanovitim nagibom kreće od izratka. Uz još jači dodir ticala sa šablonom isključuje se kontakt 3, a time i uzdužno kretanje. Stoga se čitav uređaj stane odmicati od šablone. Izvedba *d* sa tri kontakta može imati uključene kontakte 1 ili 1 i 2, samo 2, 2 i 3 ili samo 3. Pri tome nastupaju kombinacije kretanja kako je prikazano na skici redoslijeda kretanja.

Kod kombiniranih kopirnih uređaja takva ticala služe za elektromagnetsko upravljanje hidrauličkih ili pneumatskih kopirnih uređaja.

212.011.2 Automatizacija

Automatizacijom u tehničkom smislu nazivamo stanje koje je rezultat nekog procesa obavljanog automatski, tj. bez direktnog učešća čovjeka.

Svrha je automatizacije u tehnici:

- povišenje proizvodnosti i smanjenje cijene koštanja
- smanjenje zamora radnika zbog težine posla i jednoličnosti istoga rada u toku dužeg vremena
- uklanjanje eventualne opasnosti za radnika u toku procesa rada.

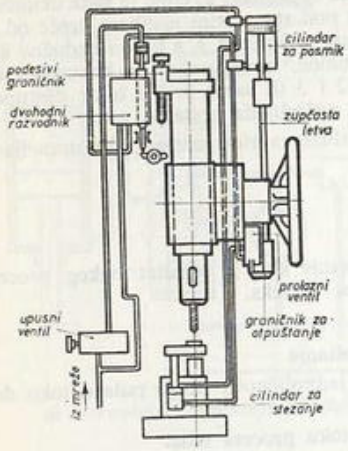
Budući da pod procesom razumijevamo niz događaja koji slijede jedan za drugim na određenim mjestima u određenom vremenu rada kod nas na alatnim strojevima, i proces obavljan automatski traži i alatne strojeve — automate.

Kod alatnih strojeva nazivamo automatom onaj na kojem se svi procesi prijenosa i gibanja ostvaruju prema unaprijed određenom redoslijedu, zadanom brzinom i zadanim dužinama posmika. I ovdje se isključuje djelovanje čovjeka tokom radnog procesa. Bez učešća poslužioca uključuje se brzi hod, regulira se brzina i trajanje bilo kojeg kretanja, prekida se radni proces obrade, skida obrađeni izradak, pomiče i steže slijedeći. Pošto završi niz operacija potrebnih za obradu jednog izratka, automat se sam od sebe prebacuje na izvođenje istog niza operacija na slijedećem izratku. Rad poslužioca na automatu svodi se na povremeno punjenje sirovim materijalom i odnošenje obrađenih izradaka te na povremeno kontroliranje dimenzija i kvalitete površine izradaka. To se odnosi samo na rad poslužioca tokom procesa obrade. Strogo uzevši, to nije točno jer i pri udešavanju stroja automata sudjeluje čovjek — udešavač stroja. On radi na stroju cijelo vrijeme dok ovaj nije tako udešen da slijed obrade i veličine odgovaraju postavljenom programu. Kad je stroj udešen da izvršava određeni program, prestaje rad udešivača pa poslužilac tokom proizvodnje prema navedenom opisu poslužuje automat. U tehničkom govoru često se zabunom ili neznanjem miješa i krivo upotrebljava pojam automata i automatskog ciklusa rada. Cjelokupnost svih premještanja radnih organa koji se ostvaruju automatski određenim redoslijedom, zadanom brzinom i dužinom hodova za vrijeme procesa izrade jednog izratka zovemo automatskim ciklusom rada. Stroj s automatskim ciklusom rada ne mora nužno biti i automat ako ima ručno namještanje i skidanje izratka te ukopčavanje stroja. Takav stroj nazivamo poluautomatom.

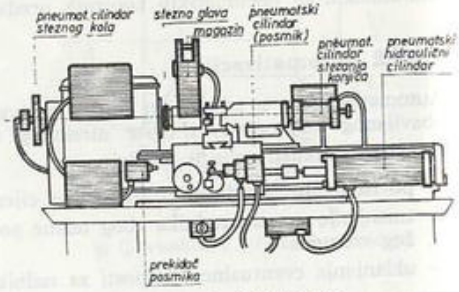
Alatni strojevi izgrađeni kao automatski i poluautomatski trebaju više vremena za pripremu (udešavanje) pri prijelazu s jednog na drugi proces rada nego konvencionalni, univerzalni alatni strojevi. Kod automata upravljanih krivuljama treba, na primjer, prema tehnološkom listu operacija konstruirati potrebne krivulje, izvesti ih i pričvrstiti na upravljački mehanizam, podesiti prijenosne elemente (poluge, osovinice itd.), podesiti međusobno hodove i položaje steznih i reznih alata itd. Zbog toga je primjena

takvih automata racionalna u serijskoj i velikoserijskoj proizvodnji (zato postoje i viševreteni automati), a ne u maloserijskoj ili pojedinačnoj.

Alatni strojevi koji nisu bili unaprijed izvedeni kao automatski ili poluautomatski mogu to postati ako se opreme stanovitim uređajima i napravama koji im omogućavaju automatski ciklus rada, a katkad i automatsko namještanje i skidanje izratka. Takvi alatni strojevi zovu se **automatizirani.** Uređaji i naprave koji omogućavaju automatiziranje alatnih strojeva zovu se **elementi automatizacije,** a često i **elementi male automatizacije.**



⑧⑤ Shema automatizacije stolne bušilice



⑧⑥ Automatizacija tokarilice

Uobičajena stolna bušilica s ručnim posmikom može se pomoću elemenata automatizacije pretvoriti u automatiziranu ⑧⑤. Automatizacija se provodi dodavanjem pneumatskih elemenata male automatizacije, cilindra za posmik radnog vretena, cilindra za stezanje u napravi i za pomicanje izratka te elemenata za pripremu i razvod komprimiranog zraka. Ako joj se dodaju elementi male automatizacije, i tokarilica također djeluje kao automatizirani alatni stroj ⑧⑥.

212.011.21 Elementi automatizacije

Već smo rekli da za obavljanje predviđenog redoslijeda tehnoloških operacija na automatskom alatnom stroju služe elementi automatizacije kojima osiguravamo nesmetan radni proces.

Prema namjeni na alatnom stroju dijelimo ih na elemente:

- za dovođenje, namještanje i stezanje izradaka (stezne naprave, transportni mehanizmi itd.)
- za izvršavanje predviđenog gibanja oštrice reznog alata prema izratku i režimu rada
- za uključivanje prijenosa brzih hodova i za povrat radnih organa u polazni položaj, za isključivanje prijenosa brzih hodova i prijenosa glavnog radnog gibanja
- za oslobađanje i odnošenje izratka
- za automatizaciju upravljanja procesa.

Prema sredstvu pomoću kojeg izvršavaju spomenute funkcije elementi automatizacije mogu biti:

- mehanički: krivulje, ekscentri, poluge
- električki: elektromagnetske spojke, mikroprekidači
- hidraulički: cilindri s klipovima, ventili, hidromotori
- pneumatski: kao kod hidrauličkih
- kombinirani: pneumatsko-hidraulički pretvarač, elektro-hidraulički motor.

Elementi automatizacije, izuzev mehaničkih proizvode se danas u velikim količinama i u velikom izboru veličina tako da se pojavljuju kao kupovna roba. To omogućava djelomičnu ili potpunu naknadnu automatizaciju već postojećih alatnih strojeva.

212.011.22 Stupanj automatizacije

Da bi se brojčano mogla odrediti automatiziranost nekog alatnog stroja, određeni su stupnjevi automatizacije.

Razni autori predlažu razne osnove po kojima bi se određivao taj stupanj. Još nije općenito prihvaćen ni propisan način koji bi jednoznačno određivao veličinu automatiziranosti nekog alatnog stroja.

Količinski pokazatelj nije se mogao odrediti opisom samog stroja pa se tražio drugi temelj. Rezultat je prikazan u tablici koja, ovisno o tome koje su faze rada na nekom stroju automatizirane, određuje brojčano stupanj automatiziranosti tog stroja. Takve tablice razvijaju se prema tome koliko je detaljno definiranje potrebno, a jedan izvod daje nam tablica 4.

Automatiziranost alatnih strojeva Tablica 4.

Skupina strojeva	Opisna karakteristika stroja	Automatizirane faze rada									Stupanj automatiziranosti stroja
		Dovod i namještanje izratka	Stezanje izratka	Stavljanje stroja u pogon	Dovođenje alata u radni položaj	Obrada	Odvođenje alata	Kontrola izratka	Zaustavljanje stroja	Skidanje izratka	
2	Mehanizirani					x					0,2
4	Poluautomati				x	x	x		x		0,4
5	Poluautomat s automatskom kontrolom				x	x	x	x	x		0,5
7	Automat	x	x	x	x	x	x			x	0,7
10	Kompleksni automat	x	x	x	x	x	x	x		x	1,0
Brojčano izraženi stupnjevi automatiziranosti alatnih strojeva u ovoj tablici imaju usporednu vrijednost											

Kao stupanj automatizacije nekog radnog procesa može poslužiti odnos vremena automatske obrade alatnim strojevima prema ukupnom vremenu potrebnom za obradu jednog komada. Označimo li vrijeme trajanja automatske obrade s t_a, a ukupno vrijeme obrade izratka s T_c, stupanj automatizacije procesa s k, vrijedi jednadžba:

$$k = \frac{t_a}{T_c}$$

Za vrijednost $k = 1$ proces obrade je automatski, za $k = 0$ proces izrade je potpuno neautomatski.

Ne treba zamjenjivati stupanj automatiziranosti alatnog stroja i stupanj automatizacije nekog procesa rada. Po svojoj vrijednosti oni mogu dovesti do nesporazuma. Na primjer.

stupanj automatizacije procesa rada na nekom stroju poluautomatu može biti vrlo visok, gotovo do 1 i promjenljiv od slučaja do slučaja, dok je stupanj automatiziranosti samog stroja relativno nizak —0,4 i stalan za taj stroj.

Automatsko upravljanje ciklusom rada može biti izvedeno različitim sistemima:

— mehaničkim: pomoću krivulja, šablona, ekscentara, poluga, kinematskih lanaca itd.

— programskim upravljanjem.

Sistemi automatskog upravljanja pomoću mehaničkih sistema najčešće se primjenjuju kod onih alatnih strojeva koji se unaprijed izvode kao automati ili poluautomati. Potrebno je relativno dugo vrijeme da se alatni strojevi takvih sistema preudese na novi proces.

Mehanički sistemi upravljanja pomoću krivulja i zglobno polužnih mehanizama imaju unaprijed određen program rada pojedinih izvršnih organa s odgovarajućim oblikom i veličinama krivulja, poluga i osovina. Kako u tim sistemima krivuljni mehanizmi obično služe za upravljanje i za prijenos snage, pojavljuju se poteškoće u izradi elemenata takvih mehanizama s obzirom na zahtjeve na njihovu čvrstoću, kvalitetu površine, istrošenost dimenzije, materijal itd. Takvi sistemi prilično su ograničeni u veličinama izrađivanih predmeta.

Uobičajen i tipičan primjer primjene mehaničkog sistema automatizacije jesu tokarilice koje zovemo »automatima« — vidi 212.02 Tokarilice.

Danas su već uvelike razvijeni takvi automati s »mehaničkim upravljanjem« gdje je ostao upravljački dio pomoću ekscentara, bregova ili krivulja, ali prijenos od upravljačkog dijela do izvršnih organa više nije mehanički (polugama, osovinama itd.), već je električki, pneumatski, hidraulički ili kombiniran. Takvo »mehaničko upravljanje« omogućava lakšu izradu upravljačkih elemenata jer oni više ne prenose silu i gibanje, već daju samo upravljačke impulse. Silu i gibanje ostvaruju posebni mehanizmi, koje zovemo organi. Takvi automati s mehaničkim prijenosima omogućavaju da jedan stroj obuhvati veća područja obrade po veličini izratka.

Zbog navedenog je primjena takvih automata ekonomična samo za proizvodnju u većim serijama.

Sistemi programskog upravljanja na alatnim strojevima imaju ove karakteristike i mogućnosti:

— brzo preudešavanje alatnih strojeva pri promjeni procesa obrade, što omogućava ekonomično iskorištavanje automatiziranih univerzalnih alatnih strojeva u maloserijskoj, a katkad i u pojedinačnoj proizvodnji;

— mogućnost obrade izradaka složenog oblika različitih veličina i velike točnosti; to posebno dolazi u obzir pri izradi krivulja, matrica, ukovanja, raznih oblika za prešanje i sl., a omogućava iskorištavanje sistema programskog upravljanja na izradi pojedinih elemenata koji onda služe u automatskoj velikoserijskoj proizvodnji;

— mogućnost centraliziranja pripreme tehnoloških procesa putem kvalificiranih specijalista — tehnologa, lako pohranjivanje i umnožavanje programa proizvodnje; to omogućava obradu istih komada u raznim poduzećima po jednom optimalnom tehnološkom procesu, a osigurano je i brzo uvođenje u obradu i pri ponovljenoj proizvodnji dijelova;

— mogućnost upravljanja opremom na daljinu, što omogućava organiziranje obrade kompliciranih i opasnih izradaka.

Bez obzira na primijenjeni sistem programskog upravljanja njegov je zadatak da na alatnim strojevima regulira:

— putanju rezne oštrice alata prema izratku

— režim procesa obrade (broj okreta, posmik)

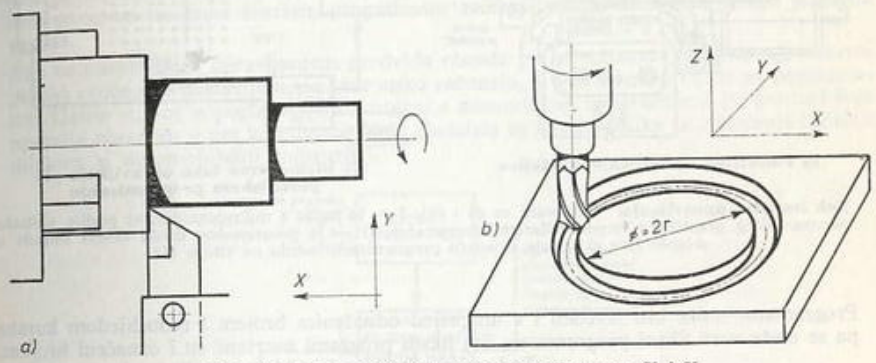
— pomična gibanja (postavljanje, stezanje, otpuštanje i odnošenje izratka, hlađenje itd.)

Najsloženiji je zadatak regulacija putanje oštrice alata jer o tome ovise oblik i dimenzija izratka.

U osnovi razlikujemo dva slučaja pri upravljanju putanjama oštrice alata ⑰:

a) kad ne postoji međusobna funkcionalna zavisnost među koordinatama gibanja npr. fazonsko tokarenje, pri kojem je veličina posmika (X) konstantna, a regulira se hod oštrice radijalno (Y); glodanje okvira i ostalih oblika izvodi se tako da se glodalo kreće samo u jednoj koordinati, a ne istodobno u dvije ili tri;

b) kad postoji funkcionalna zavisnost između dviju, tri ili više koordinata, npr. konturno glodanje krivulja, bilo u ravnini ili u prostoru.



⑰ **Funkcionalna zavisnost među koordinatama X i Y**

a — ne postoji dok je alat u zahvatu, npr. X = konstantna (jer je posmik), a Y = promjenljiva
b — postoji jer se alat kreće po krugu $X^2 + Y^2 = R^2$

Automatizacija programskim upravljanjem danas se sve više razvija i uvodi na sve vrste alatnih strojeva. Prema načinu kako se zadaje program rada dijelimo ga:

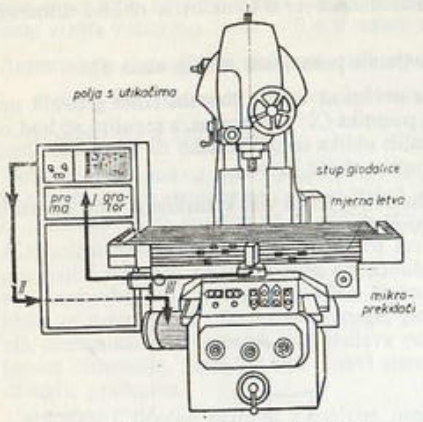
— na nenumeričko, pozicijsko i

— na numeričko programsko upravljanje.

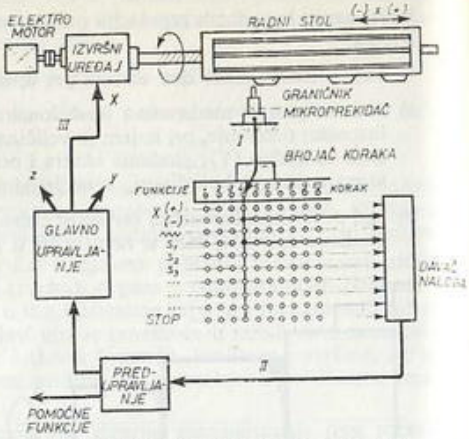
Kod nenumeričkog, pozicijskog upravljanja program se zadaje tako da se programatoru pomoću »programskog radnog lista« utikačima (ili na sličan način) popune oni otvori koji odgovaraju gibanjima i pomoćnim funkcijama za koje se predvida da će se obaviti na svakom koraku. Korak je daljinski razmak između dviju točaka u kojem ne mijenjamo koordinatu gibanja, ni bilo koju drugu veličinu režima obrade ili pomoćne funkcije. Programski radni list sastavlja tehnolog — programirač u pripremi rada na temelju crteža izratka i predvidenog tehnološkog procesa obrade. Izgled pozicijski upravljane glodalice prikazuje ⑱.

Dužine gibanja po pojedinim koordinatama postavljaju se na mjernim letvama pomoću graničnika, i to na samom alatnom stroju ili izvan njega. Signal — impuls koji se dobije kad graničnik u radu naleti na prekidač i aktivira ga ide u programator, gdje na temelju programa izvršava predvidena prebacivanja i pomoćnih funkcija u drugu koordinatu, kao što su npr. okretanje i zaustavljanje okretanja vretena ili rada pumpe, stezanje alata, zaustavljanje rada stroja itd. (Vidi blok-shemu na ⑲.)

Mjerni element za određivanje veličina gibanja po pojedinoj koordinati je spomenuta mjerna letva s graničnicima. Time je određena i točnost dužina jer je ona ovisna o točnosti namještanja graničnika, ali i o brzini posmika. Točnost ponavljanja kod tih sistema je reda veličine 0,1 mm.



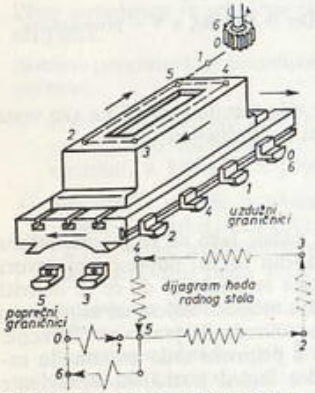
88 Pozicijsko upravljanje glodalica



89 Blok-shema toka upravljanja pri pozicijskom programiranju

Tok impulsa upravljanja: (odgovara za 88 i 89): I — iz kutije s mikroprekidačima poslije nailaska odgovarajućeg graničnika impuls odlazi u programator, II — iz programskog dijela odlazi impuls u sklopke koje aktiviraju sliedeću programiranu radnju na stroju III

Programator može biti izveden i s unaprijed određenim brojem i redoslijedom koraka pa se onda zove fiksni programator. Svi fiksni programi nacrtani su i označeni brojem. Tada nije potrebno kombinirati utikače da se postigne određeni proces, već se to čini jednostavnim okretanjem dugmeta na onaj broj koji nosi program koji želimo ostvariti. Pri tom načinu potrebno je samo na mjernim letvama zauzeti potrebne veličine hodova po koordinatama. Primjer vidimo na 90.



90 Prikaz radnog ciklusa okvirnog glodanja programskim upravljanjem, npr. fiksnim programima (O — ukopčavanje početka rada rukom = brzi hod udesno, 1 — automatsko prekopčavanje graničnikom = posmik desno, 2 — automatsko prekopčavanje graničnikom = posmik od nas, 3 — automatsko prekopčavanje graničnikom = posmik lijevo, 4 — automatsko prekopčavanje graničnikom = posmik k nama, 5 — automatsko prekopčavanje graničnikom = brzi hod ulijevo, 6 — automatsko zaustavljanje graničnikom = stop)

Programatori s utikačima mogu biti izvedeni u obliku ploče, ali i bubnja. Da se ubrza rad na programatoru, upotrebljavaju se bušeni kartoni sastavljeni prema programskom radnom listu. Izbušeni karton prislonimo na ploču ili bubanj i kroz postojeće rupice, koje odgovaraju programiranim funkcijama, jednostavno umećemo utikače. Izbušeni karton ima ovdje ulogu memorije ili pamćenja.

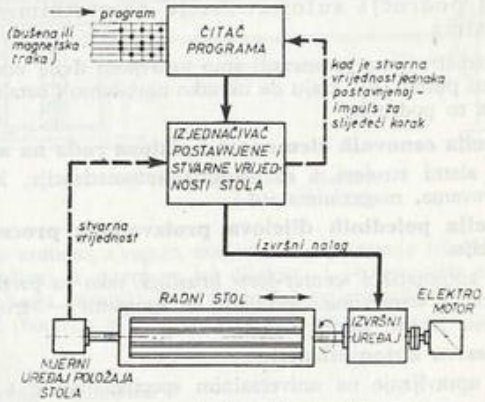
Program se može stvarati i tako da se na alatnom stroju prvi komad izrađuje »ručno« prema predviđenoj tehnologiji pa se u memoriji »zapisuje« svaki krajnji položaj u koordinati i ostale promjene u pomoćnim funkcijama. Drugi i daljnji izraci izvode se tako da programator »ponavlja« ono što je pri izradi prvog komada »zapamtio«. Takvu vrstu programskog upravljanja zovemo repeticijskim.

Mjerni uređaj za određivanje veličina gibanja po pojedinoj koordinati ovdje je obično specijalna izvedba sinhronog elektro-motora, zvanog selsin. Prikladnom kombinacijom sa dva selsina po jednoj koordinati može se postići veća točnost ponavljanja od one s graničnicima. Jedan selsin služi za grubo podešavanje,

a drugi za fino. Ulogu memorije u tom slučaju obično ima magnetski bubanj ili disk, a koji put i niz potenciometara.

Programsko upravljanje numeričkim putem sastoji se u tome da se koordinate i razmaci krajnjih točaka gibanja izražavaju brojčano. Odatle i naziv numeričko upravljanje. Proces obrade nanosi se brojčano na karton programskog radnog lista nanizan po koracima. Na tom se kartonu prema određenom kodu ili šifri nanose brojčani podaci za glavne i za sve pomoćne funkcije svakog koraka u toku procesa obrade. Jednim od sistema te se brojke pretvaraju u binarne vrijednosti (tj. 1 ili 0) i nanose kao niz rupica na bušenu traku ili niz impulsa na magnetsku vrpcu. Ova se uvodi u programator, gdje se očitavaju podaci i aktiviraju odgovarajući uređaji na alatnim strojevima za izvršenje postavljenih naloga. Kad izvrši jedan nalog i dobije signal da je on završen, čitač u programatoru dobiva impuls da očita slijedeći nalog i tako se vrpca postupno pomiče. Pošto je predviđeni program na vrpci završen, programator zaustavlja stroj ili prema nalogu ponavlja proces.

Ako se numeričkim upravljanjem predviđa obrada po krivuljama (konturama), osnovni podaci obično se dostavljaju u elektronsko računalo, a ono formira vrpcu za programator. Danas su već u pogonu alatni strojevi s numeričkim upravljanjem po konturi koje upravlja obradom u pet koordinata (npr. glodalica za izradu oblika za izvlačenje limenih dijelova u automobilskoj industriji).



91 Blok-shema toka upravljanja pri numeričkom programiranju
Shema prikazuje tok samo za jednu koordinatu: —— tok naloga iz čitača programa, — — — tok informacija o stvarnom položaju (povratna sprega)

Numeričko upravljanje ne traži postojanje i podešavanje graničnika po koordinatama jer su ovdje te vrijednosti (kao, uostalom, i sve ostale funkcije) zadane brojčano.

Alatni stroj ima na sebi ugrađen mjerni uređaj koji »javlja« programatoru položaj prema svakoj koordinati i u svakom momentu. Programator »uspoređuje« zadani i ostvareni položaj i kad je on postignut, zaustavlja gibanje. Na taj način postiže se onaj položaj koji je bio zadan programom. Mjerni uređaj, koji može biti izveden na različite načine, ovdje je element povratne sprege. Vidi blok-shemu 91.

Budući da numeričko upravljanje uspoređivanjem zadane i ostvarene vrijednosti uglavnom zadovoljava zahtjeve s obzirom na točnost ponavljanja, prihvaćena je relativna kompliciranost takvog programatora i elementa povratne sprege. Ima sve više pokušaja da se i numeričko upravljanje ostvari jednostavnijim uređajima bez povratne sprege. Jedan od primjera takvog ostvarenja jest i rješenje s elektrohidrauličkim impulsnim motorima.

Elektro-motor specijalne izvedbe zakrene se pri svakom impulsu struje koji u njega ude za konstantan kut. Hidraulični razvodnik povezan s vratilom elektro-motora otvara put

tlačnom ulju u hidro-motor, koji na svojoj izlaznoj osovini daje veliku snagu, a zakreće se sinhrono s elektro-motorom za konstantan kut. Mehaničkim prijenosnicima može se postići da svaki impuls u elektro-motoru izazove odgovarajući konstatan pravocrtni pomak na stroju. Broj impulsa u jedinici vremena određuje brzinu posmika, a ukupni broj impulsa — dužinu pomaka. Svaka koordinata na alatnim strojevima ima po jedan elektrohidraulički impulsni motor, a programator na temelju programa na bušenoj vrpci »odbrojava« za svaku koordinatu potreban broj impulsa i broj impulsa u jedinici vremena, tj. brzinu posmika. Budući da programer određuje ukupan broj impulsa za postizanje pojedinih koordinata, a elektrohidraulični impulsni motor ga sigurno ispunjava, povratna sprega nije potrebna.

Prednost je numeričkog upravljanja pred nenumeričkim u tome što je moguće i prvi komad obrađivati automatski. Točnost ponavljanja koja se postiže numeričkim upravljanjem veća je nego pri nenumeričkom, a osim toga omogućava izradu i najkompliciranijih oblika i krivulja.

Nedostatak je numeričkog upravljanja prema nenumeričkom što traži visokostručne kadrove pri izradi programa i što je kao uređaj kompliciraniji i skuplji.

Da bi se omogućila izrada kompliciranih oblika i krivulja i pomoću nenumeričkog upravljanja, upotrebljavaju se kombinirano programatori i kopirni uređaji.

221.011.23 Pregled područja automatizacije na alatnim strojevima i procesima

U dosadašnjim razmatranjima spomenuli smo uglavnom dvije vrste automatizacije od cijelog niza koji već postoji. Na kraju da ukratko navedemo i ostale vrste da bismo dobili širi pogled na to područje.

I. Automatizacija osnovnih elemenata i ciklusa rada na alatnim strojevima
(Univerzalni alatni strojevi s elementima automatizacije, kopirnim uređajima, steznim napravama, magazinima itd.)

II. Automatizacija pojedinih dijelova proizvodnog procesa — djelomična automatizacija
(Brušenje na automatskoj »center-lees« brusilici, iako su prethodne operacije bile na neautomatskim strojevima. Specijalni — agregatni — stroj za pojedine operacije u procesu izrade nekog izratka.)

III. Lako preudesiva automatizacija
(Programsko upravljanje na univerzalnim specijaliziranim i specijalnim alatnim strojevima)

IV. Puna automatizacija alatnog stroja i opreme
(Automatski alatni strojevi sa svojim priborom)

V. Automatizacija operacija kontrole
(Uređaji »aktivne kontrole« — »stop-cote« uređaji na brusilicama)
Međuoperacijske mjerne i kontrolne stanice na transfer-stazama.
Specijalne automatske kontrolne stanice — sortirnice itd.)

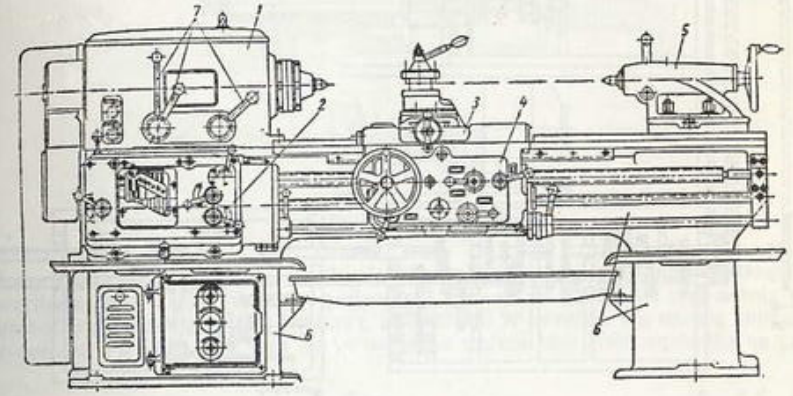
VI. Automatizacija međuoperacijskih transportnih sredstava
(Univerzalni i specijalizirani alatni strojevi povezani u lance automatskim transportnim uređajem. — Transfer-staze za izradu pojedinog izratka)

VII. Kompleksna automatizacija proizvodnog procesa u masovnoj proizvodnji
(Transfer-staze za izradu pojedinih dijelova povezane su međusobno u cjelinu automatskom montažnom stazom.)

Navedena podjela nije konačna ni jedina. Njena struktura omogućava nam da sagledamo širinu razvoja automatizacije, mogućnosti njene primjene ne samo na alatni stroj već i na cjelokupan proces izrade, kontrole, transporta i montaže proizvoda.

212.02 TOKARILICE

Tokarilice su strojevi na kojima obrađujemo rotacijske izratke. Radno rotacijsko kretanje izvodi izradak, a sva pomoćna kretanja alat. Posmično kretanje alata je paralelno s osi izratka — to je cilindrično vanjsko ili unutarnje tokarenje; poprečno na os je poprečno (čeono) tokarenje; tokarenje pod određenim kutom je tokarenje konusa; po određenoj krivulji, sastavljeno za izradu neokruglih izradaka jest poseban slučaj natražnog tokarenja; sa strogo određenim usponom — to je tokarenje navoja. Uz upotrebu drugih alata na tokarilici se može obrađivati bušenjem, razvrtavanjem, rovašenjem itd. Izradak na njoj



① Izgled univerzalne tokarilice

upinje se o radno vreteno, a suport nosi alat. ① prikazuje tokarilicu klasičnog izgleda (univerzalna tokarilica), a glavni su joj dijelovi: 1 — vretenište s radnim vretenom (7 ručice za biranje broja okreta); 2 — posmični prijenosnik; 3 — suport; 4 — ključna ploča; 5 — jahač (konjić); 6 — postelja s nogama i elektromotorni pogon.

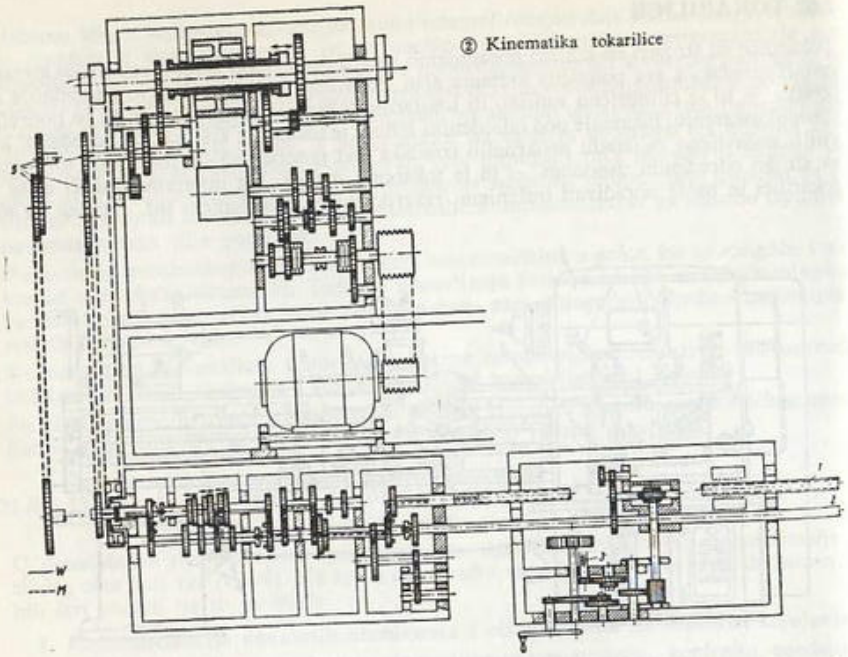
212.020.1 Jednostavne tokarilice

Najjednostavniji oblik tokarilice je urarska tokarilica. Suport služi samo kao potpora alatu, a rijetko je predviđen posmik suporta, i to, samo ručni. Jednostavna tokarilica u biti je slična tokarilici prema ①, samo što je vrlo pojednostavnjene konstrukcije. Broj okreta bira se prebacivanjem remena, a posmici izmjenom zupčanika na škarama. Često se ta tokarilica naziva i alatničarskom tokarilicom.

212.020.2 Univerzalne tokarilice

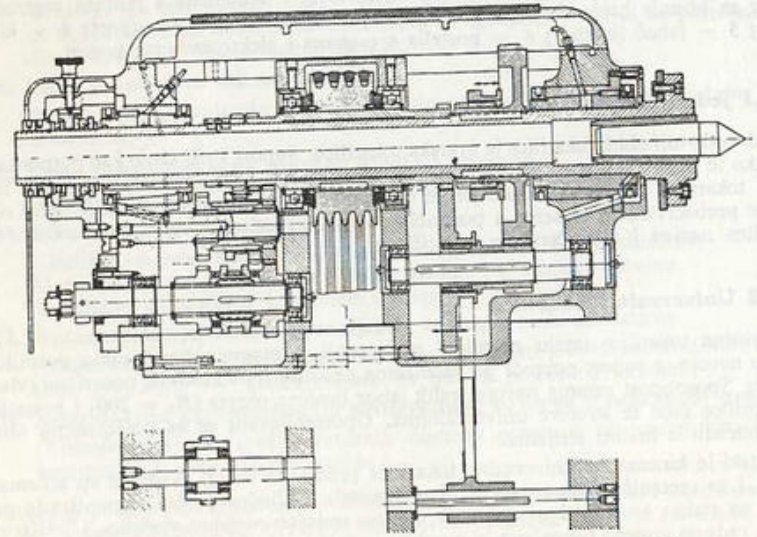
Univerzalne tokarilice imaju posmični prijenosnik s mogućnošću biranja posmika za rezanje navoja, a suport pokreće po saonicama navojno (povodno) ili posmično (vlačno) vreteno. Sposobnost rezanja navoja, velik izbor brojeva okreta ($B_n = 200$) i posmika te razni pribor čine te strojeve univerzalnima. Upotrebljavaju se za pojedinačnu obradu ili za obradu u malim serijama.

Shematski je kinematika univerzalne tokarilice prikazana na ②. Vidljive su kinematske cjeline, i to vretenište, škare, posmični prijenosnik i ključna ploča. Vretenište je prijenosnik za radno kretanje i u njemu je ujedno smješteno radno vreteno. Uležištenju i izvedbi radnog vretena posvećena je posebna pažnja jer o točnosti te izvedbe ovisi i toč-

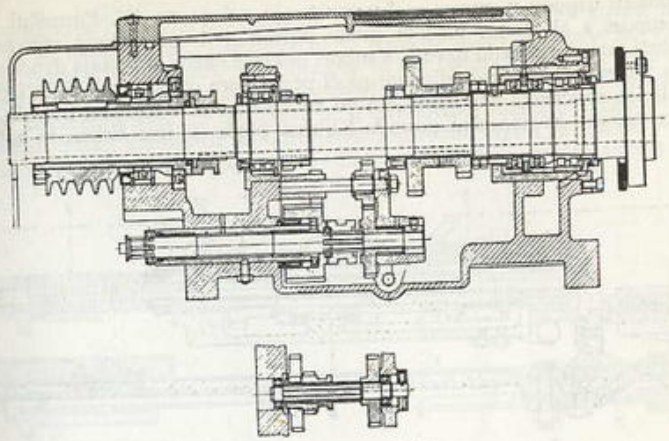


② Kinematika tokarilice

nost stroja. ③ i ④ prikazuju izvedbe radnih vretena s kliznim i valjnim uležištenjem. Radno vreteno preko zupčanika za biranje smjera i škara daje pogon posmičnom prijenosniku, koji se sastoji od Nortonova prijenosnika i prijenosnika za multipliciranje

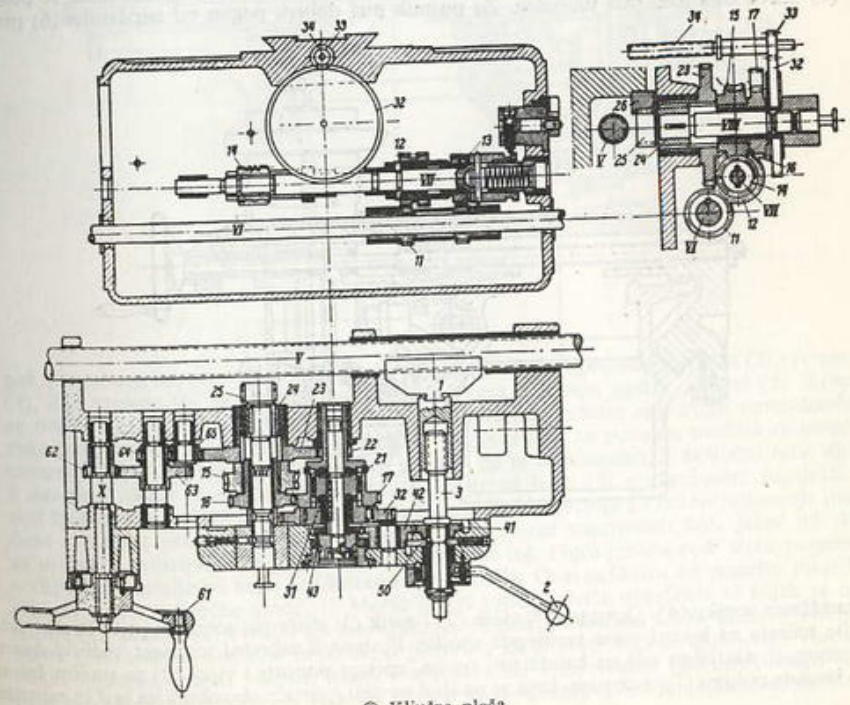


③ Vretenište tokarilice s radnim vretenom uležištenim u klizne ležajeve



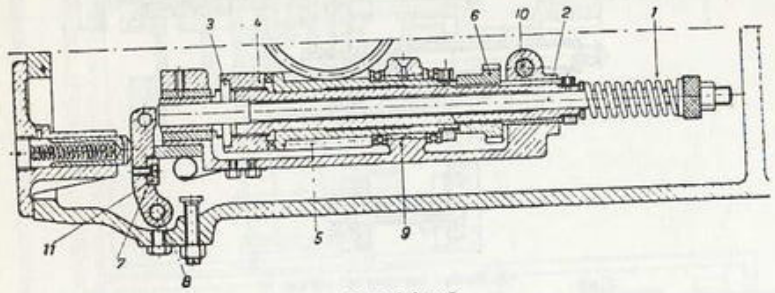
④ Radno vreteno tokarilice

osnovnog prijenosa. U svrhu korištenja tih zupčanika za obradu milimetarskog i Whitworthova navoja služi Nortonov prijenosnik tako da se pri obradi mm-navoja rotacija prenosi s piramide na stalni zupčanik, a pri obradi W-navoja s tog stalnog zupčanika na piramidu. To biva zbog toga što je u prvom slučaju broj zubi zupčanika na piramidi



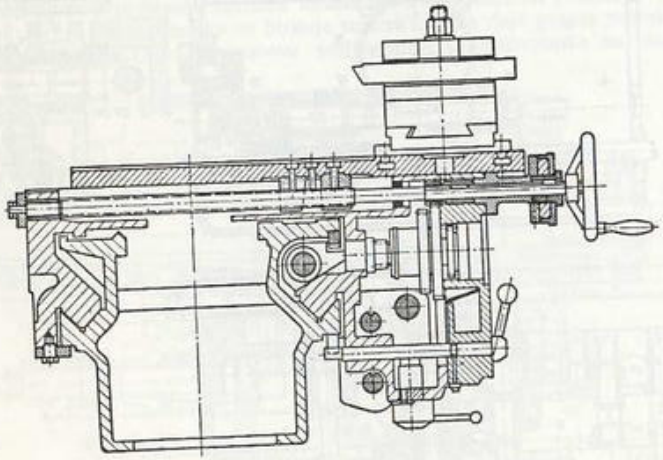
⑤ Ključna ploča

proporcionalan usponu u mm, a u drugom broju vojeva na 1''. Posmični prijenosnik pokreće suport s ključnom pločom preko navojnog ili posmičnog vretena. Navojno vreteno služi samo za obradu navoja, a suport pokreće nakon sklapanja dvodijelne matice. Posmično vreteno daje pogon ključnoj ploči preko para zupčanika, puža i pužnog kola te niza daljnjih zupčanika odguravanjem od zubne motke za uzdužni posmik, ili vretenu poprečnog suporta za poprečni posmik. Ključna ploča ⑤ ima sistem za zabravljivanje



⑥ Padni puž

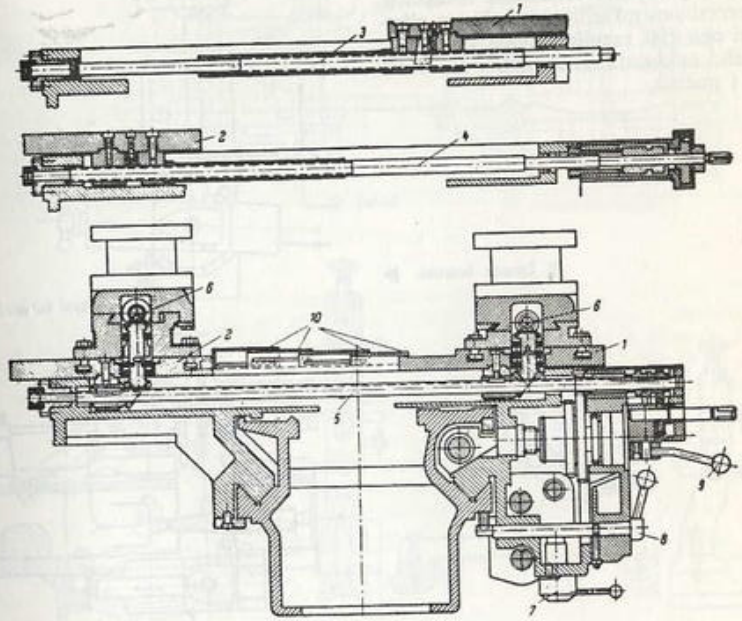
mogućnosti ukopčavanja normalnog posmika kad se reže narez i obrnuto. Normalan posmik se najčešće uključuje i isključuje padnim pužem ⑥, i to zakretanjem oko okretišta (10), čime ulazi u zahvat puž (5) s pužnim kolom ili obrnuto. Pri tome je poluga (7) brava koja drži puž uključen. Za posmik puž dobiva pogon od zupčanika (6) preko



⑦ Suport

kandžaste spojke (4). Opruga (1), vijak (2) i zatik (3) služe pri tome za prihvat aksijalne sile nastale na kosini zuba kandžaste spojke. Postane li zakretni moment veći od dopustenog, tj. aksijalna sila na kandžastoj spojci, opruga popusti i vijak (2) sa svojim čelom odmakne polugu (7), a opruga, koja se na slici ne vidi, povuče oko okretišta puž iz zahvata.

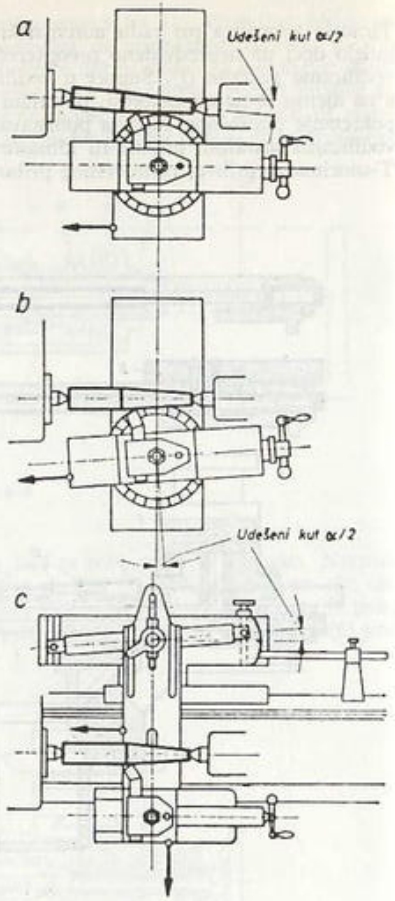
Time je tokarilica pri radu automatskim posmikom osigurana od kvara, do kojeg bi moglo doći uz nepredviđeno preopterećenje. Ključna ploča sa suportom vođena je na vodilicama postelje ⑦. Suport u vodilicama oblika lastina repa vodi poprečni suport, a na njemu se nalazi zakretni, pa križni suport s držačem alata. Zračnost na vretenu za pokretanje poprečnog suporta poništava se u dvodijelnoj matici pritezanjem klina, a u vodilicama justažom udesne ili klinaste letve. Poprečan suport izvodi se i kao ploča s T-utorima za prihvat raznovrsnog pribora ili kao dvostruki poprečan suport ⑧. Posmik



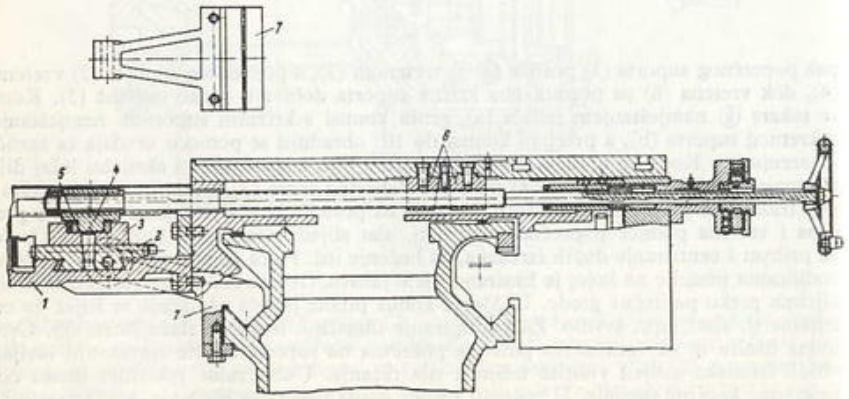
⑧ Dvostruki suport

pak poprečnog suporta (1) postiže se ⑧ vretenom (3), a poprečnog suporta (2) vretenom (4), dok vretena (6) za posmik oba križna suporta dobivaju preko osovine (5). Konusi se tokare ⑨ namještanjem jahača (a), grubi konusi s križnim suportom namještanjem zakretnog suporta (b), a precizni konusi do 10° obrađuju se pomoću uređaja za konično tokarenje (c). Kod tog uređaja vreteno suporta ⑩ je teleskopsko, a aksijalni ležaj dijela s navojem nalazi se na čepu (4) uređaja. Zakretna letva (3) s nonijusom namješta se pod traženi kut, a fiksirana je preko tijela (1) na postelju stroja pa tokom tokarenja preko čepa i vretena pomiče poprečno suport, tj. alat slijedi namješteni kut. Jahač ⑪ služi za prihvat i centriranje dužih izradaka, za bušenje itd. Ploča jahača vodi se na posebnim vodilicama postelje na kojoj je fiksirano tijelo jahača. Ovaj se fiksira na postelju tokarilice vijcima preko poprečne grede. U Morse-konus pinole jahača učvršćuje se šiljak za centriranje ili alati, npr. svrdlo. Za podupiranje dugačkih izradaka služe linete ⑫. Čvrsta lineta fiksira se na vodilice za jahač, a pokretna na suport. Linete sprečavaju savijanje vitkih izradaka uslijed vlastite težine i sila rezanja. Univerzalne tokarilice imaju često prigradne kopirne uređaje. U redoviti pribor spada uređaj za hlađenje, koji se sastoji od

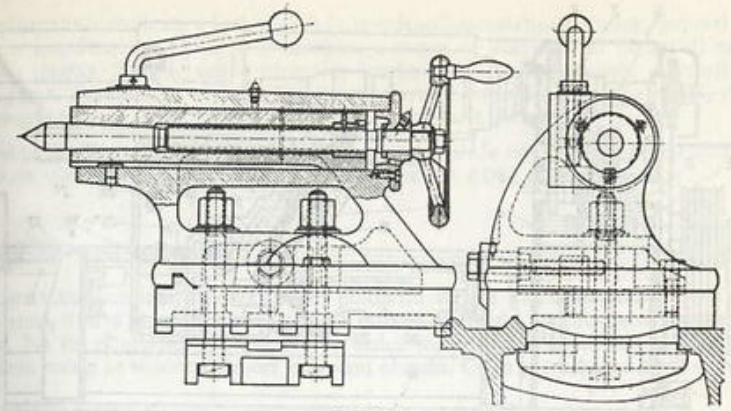
rezervoara za rashladnu tekućinu, pumpe i cjevovoda. Veličina tokarilice karakterizirana je visinom šiljaka iznad postelje, koja je standardizirana te iznosi 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400 i 500 mm. Snaga elektro-motora kreće se od 1 do 30 kW. Brojevi okreta radnog vretena univerzalnih tokarilica iznose od 9 do 3 000 o/min, uzdužni posmik 0,05 do 3 mm/o, dok je poprečni polovična vrijednost uzdužnog. Univerzalnom tokarilicom može se obrađivati oko 100 raznih uspona metričkih, colskih, modulnih i diametral-pitch navoja i puževa.



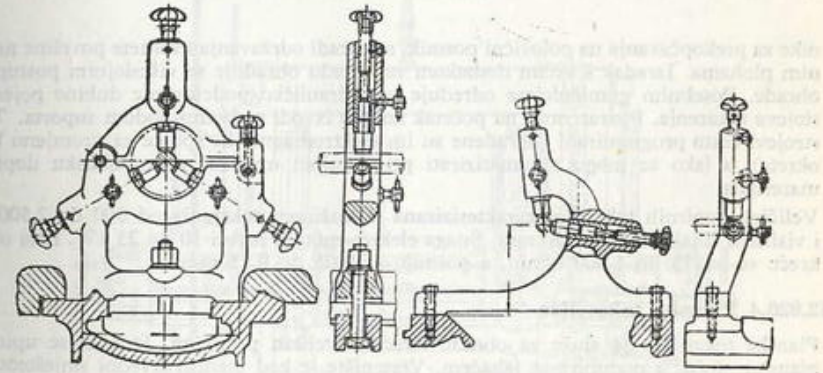
⑨ Izrada konusa ▶



⑩ Uređaj za tokarenje konusa



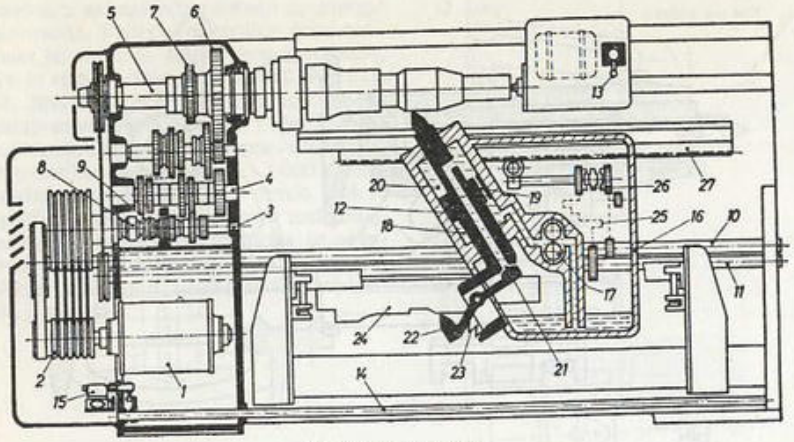
⑪ Jahač



⑫ Čvrsta i pokretna lineta

212.020.3 Kopirne tokarilice

Kopirne tokarilice obrađuju isključivo kopirnim uređajem ⑬. Alat je jednostavan tokarski nož, ali robustnih dimenzija. Stroj je oblikovan tako da strugotina sigurno pada u posudu za odvoz strugotine (često je suport vertikalan). Vretenište i posmični prigon izvedeni su jednostavno (mali broj brzina, npr. 12). U vreteništu je ugrađena kočnica za brzo zaustavljanje rotacije radnog vretena nakon iskapčanja ulazne spojke. Izradak se upinje u brzostežuću steznu glavu, a sa suprotne strane centrira ga jahač, koji se upravlja nožnom polugom. Pinolu jahača pokreće elektro-motor, koji se automatski isključuje pošto je postignuta određena sila upinjanja. Suport hidrokopirnog uređaja smješten je pod kutom od 60° da se omogući kopiranje stepenastih izradaka s čelnim plohama pod pravim kutom prema osi tokarenja. Kut na suprotnoj strani stepenice može biti pri tome maksimalno 30° prema osi. Kopirni suport pokreće se hidraulički (na ⑬ prikazana je izvedba jednobridnog hidrokopirnog sistema). Za kopiranje u šupljem izratku taj suport ima poseban pribor. Uzdužni posmik suporta izvodi se preko zupčanika i zubne letve, a pogon se dobiva od radnog vretena preko remenica, posmičnog vretena i niza zupčanika u suportu. Izvode se i strojevi s uzdužnim hidrauličkim posmikom; pri tim izvedbama kopirni sistem je dvoosni. Šablona je smještena na posebnim nosačima, koji nose i granič-



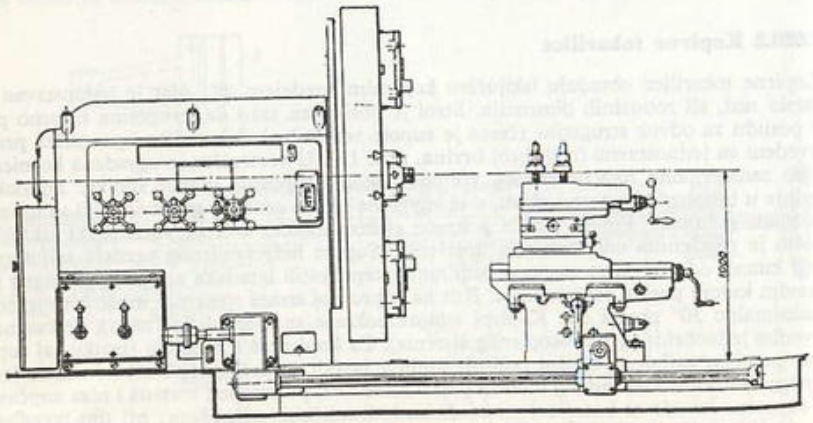
⑬ Kopirna tokarilica

nike za prekopčavanja na polovični posmik, npr. radi održavanja kvalitete površine na čelnim plohama. Izradak s većim dodatkom za obradu obrađuje se višeslojnim postupkom obrade. Posebnim graničnicima određuje se hidrauličko podešavanje dubine pojedinih slojeva tokarenja. Povrat noža na početak izratka izvodi se brzim hodom suporta. Ti su strojevi često programirani (ugrađene su im elektromagnetske spojke za promjenu broja okreta), a lako se mogu automatizirati prigradnjom uređaja za automatsku dopremu materijala.

Veličina kopirnih tokarilica karakterizirana je dužinom tokarenja od 500 do 2 500 mm i visinom šiljaka 115 do 250 mm. Snaga elektro-motora iznosi 10 do 25 kW. Broj okreta kreće se od 75 do 1 800 o/min, a posmik od 0,05 do 0,75 mm/o.

212.020.4 Planske tokarilice

Planske tokarilice ⑭ služe za obradu izradaka velikih promjera. Izradak se upinje u plansku ploču, a podupire se jahačem. Vretenište je kod manjih izvedbi smješteno kao



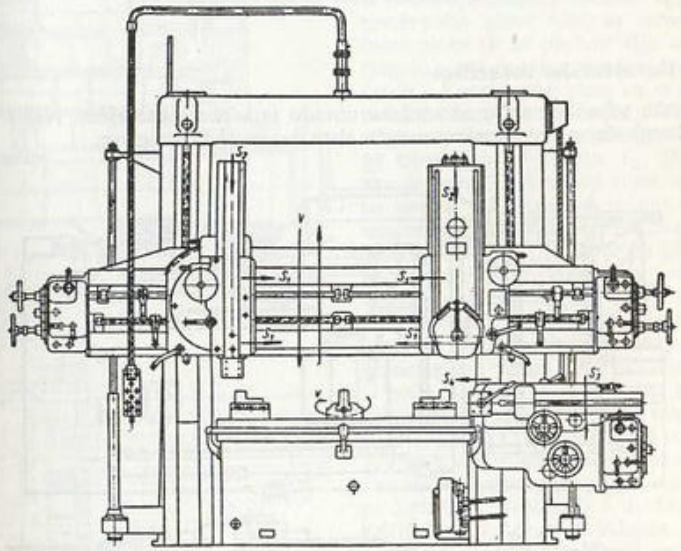
⑭ Planska tokarilica

kod normalnih strojeva, a kod velikih je izvedeno kao zasebna jedinica. Suporti su u tom slučaju smješteni na ploču s T-utorima, a mogu se zakretati za bočnu ili za plansku obradu izratka. Za vrlo velike promjere izradaka ispod planske ploče u temelju je izvedena jama. Prednost je te tokarilice prema karusel-tokarilici jeftinoća stroja, no točnost je manja, teže je upeti izradak, a postoji i opasnost od njegova pada.

Planske tokarilice izvode se s promjerom planske ploče od 1 000 do 4 000 mm, na kojo se može obradivati izradak kod izvedene jame do 8 000 mm promjera.

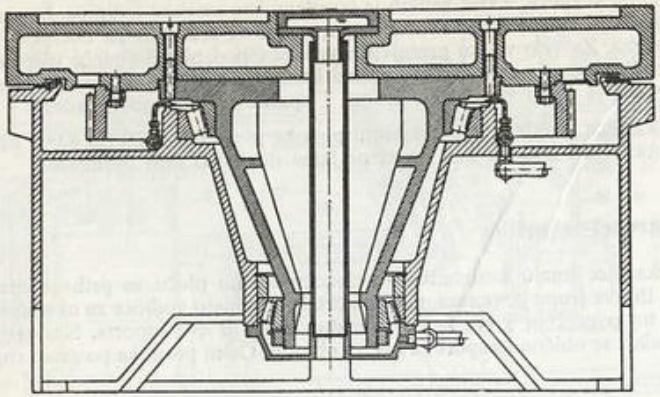
212.020.5 Karusel-tokarilice

Karusel-tokarilice imaju horizontalno položenu steznu ploču za prihvat izratka. Vertikalni stup, ili dva stupa povezana u oblik portala ⑮, imaju vodilice za okomito pokretanje grede. Na toj poprečnoj gredi kreću se uzduž jedan ili dva suporta. Na vertikalnim vodilicama nalazi se obično i suport za bočnu obradu. Osim posmika po gredi suporti imaju



⑮ Karusel-tokarilica

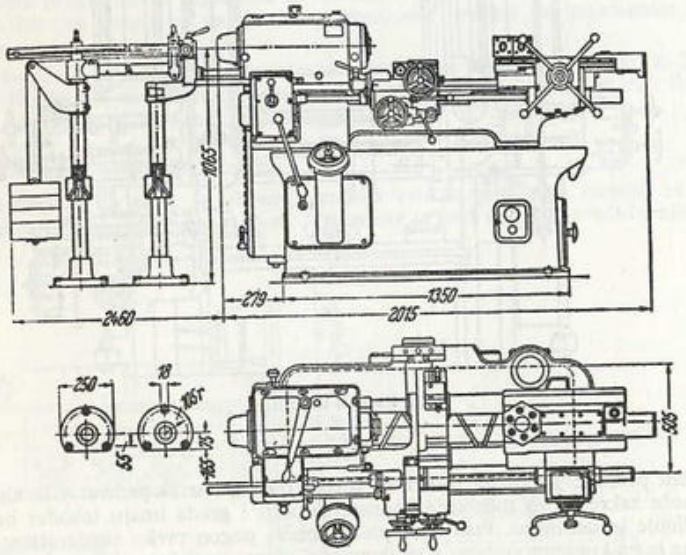
i poprečan posmik. Jedan od njih nosi revolversku glavu za prihvat više alata, dok se drugi može zakretati za tokarenje konusa. Suporti i greda imaju također brz posmik, a upravljanje je daljinsko. Prihvatna ploča dobiva pogon preko zupčaničkog vijenca, a uležištena je na kratkom vretenu u velikom aksijalnom kugličnom ležaju, na segmentnom kliznom ležaju ili na posebnim valjcima. Osovina je također radijalno vođena u valjkastim ili kosovaljkastim ležajevima ⑯. Prednost je ove tokarilice u usporedbi s planskom pouzdano i lako upinjanje izratka, veća točnost obrade te kraća pomoćna i glavna vremena (obrada s više suporta). Te tokarilice opremaju se također i kopirnim uređajem. Promjeri tokarenja kod jednostupnih karusel-tokarilica kreću se maksimalno od 630 do 1 500 mm, a kod dvostupnih od 1 500 do 25 000 mm.



⑯ Prihvatna ploča karusel-tokarilice

212.020.6 Revolverske tokarilice

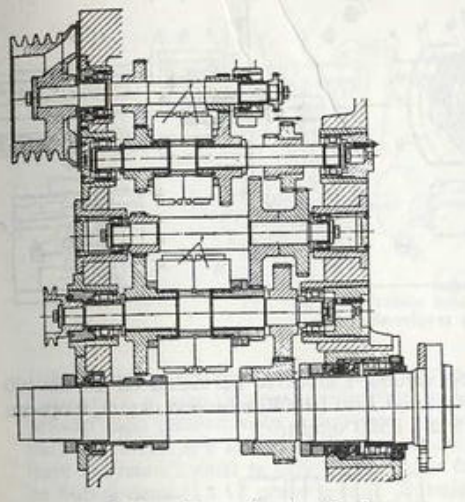
Revolverske tokarilice služe za serijsku obradu izradaka tokarenjem. Naziv im potječe od karakterističnog revolverskog nosača alata — revolverske glave.



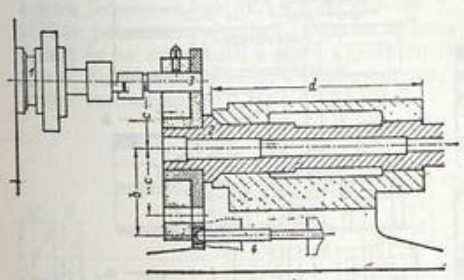
⑰ Revolverska tokarilica

Izraci se obraduju iz šipkastog ili komadnog materijala. ⑰ prikazuje izgled revolverske tokarilice s uređajem za vođenje šipkastog materijala. U radnom vretenu taj se materijal prihvaća steznim čahurama, a komadni steznom glavom. Potreban broj okreta često se

bira ukopčavanjem elektromagnetskih spojki ⑱. To se primjenjuje za djelomično programsko upravljanje, a prekopčavanja se izvode pomoću mikroprekidača aktiviranih osovinom s graničnicima za revolversku glavu. Stroj normalno ima posmični prigon, a bolji strojevi imaju i uređaj za brz posmik revolverskih saonica kojim se smanjuju pomoćna vremena. Poprečni suport građen je bez križnog suporta, a služi za poprečno i uzdužno tokarenje. Taj je suport opskrbljen i kopirnim uređajem. Sa stražnje strane na njemu se nalazi nosač s nožem za odsijecanje. Uzdužni posmik dobiva revolverska glava preko revolverskih saonica. Prema položaju osi revolverske glave razlikuju se izvedbe s dugačkim vođenjem i horizontalnom osi, paralelnom sa smjerom radnog vretena (bubnjasta revolverska glava) ⑲, i zvjezdaste revolverske glave s kratkim vođenjem, a vertikalnog, kosog ili poprečnog položaja osi. Kod bubnjaste glave alati se učvršćuju na čelnoj strani, kod zvjezdastih pak na obodu, što je povoljnije zbog prostora. Zbog svog smještaja zvjezdaste glave ⑳ mogu imati samo kratko vođenje, čime se smanjuje moguća točnost obrade. Na revolverske glave alati se učvršćuju na čelne plohe ili na provrte čije se osi poklapaju s osi radnog vretena (centriranje svrdla). Revolverske glave su za svaki svoj položaj fiksno centrirane, a pozicioniranje osigurava konični klin (na ⑲ element 4, ⑳ element a_1 u puškici b_1, ㉑ element 1 u vijencu 2). Izvedba centriranog klina prema ㉑ osigurava manje trošenje i mogućnost reguliranja bočne zračnosti koničnom letvom. Ujedno je na ㉑ prikazan način prekreta. U povratnom hodu revolverskih saonica poluga 3 najaši na greben 4 te povlači centrirni klin 1 iz zahvata (crtež a). Nadalje, greben 6 zakrene revolversku glavu preko sudarnih svornjaka 5. U hodu naprijed je revolverska glava centrirana centrirnim klinom 1 u idućem procijepu vijenca 2. Grebeni 4 i 6 omogućuju povratak sudarnim elementima jer su u tom smjeru zakretni, a pridržava ih opruga (crtež c). Svornjaci 5 ujedno zakreću križić 8, preko čega se zakreće i osovina s graničnicima 11 i 7. Na ⑳ prikazana je izvedba revolverske glave s dodatnim fiksiranjem u blokiranom položaju pomoću dvodijelne konične obuhvatnice (c), a putem dvostrukog ekscentra (i). Time se postiže veća sigurnost za prihvat sila obrade. Kod bubnjastih revolverskih glava postoji još uređaj za mogućnost posmičnog zakretanja glave u svrhu planskog tokarenja. Osovina sa sudarnicima služi za ograničenje hoda (dužinsko pozicioniranje) revolverskih saonica za svaku fazu obrade posebno, pa tokom rada nije potrebno mjerenje i kad je stroj jednom podešen, daljnji rad obavlja priučeni radnik.

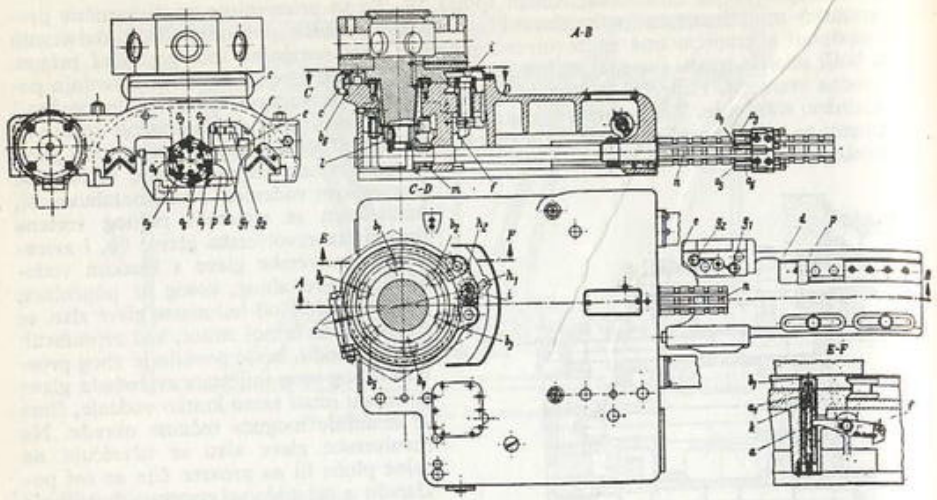


⑲ Vretenište revolverske tokarilice



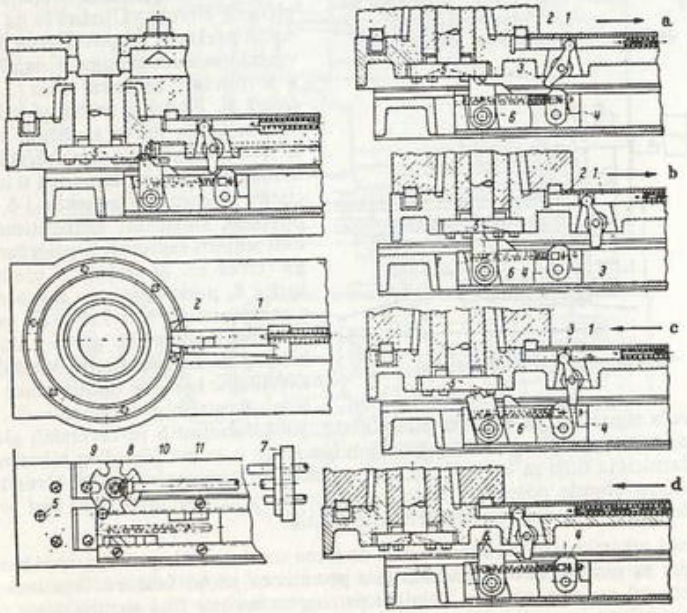
⑳ Bubnjasta revolverska glava

Revolverski tokarski strojevi mogu imati dodatne uređaje za kopiranje, konično tokarenje itd. Uređaj za rezanje navoja izveden je s posmikom preko šablone. Ova ima polovičan broj okreta od radnog vretena kako bi joj uspon mogao biti strmiji zbog čvrstoće i habanja (izvedena je s pilastim navojem). Veličina revolverske tokarilice karakterizirana



⑲ Zvjezdasta revolverska glava

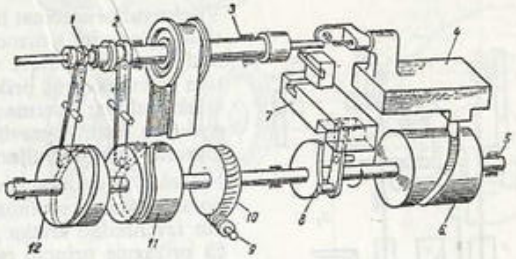
je promjerom provrta (prolazom) radnog vretena i kreće se normalno od 20 do 100 mm. Snaga pogonskog elektro-motora kreće se od 2 do 10 kW, a brojevi okreta, u opsegu $B_n = 30$ do 50, ovisno o veličini, od 15 do 1 500 o/min.



⑳ Prekret revolverske glave

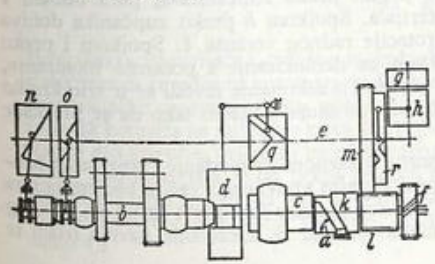
212.020.7 Automati

Automati služe za velikoserijsku i masovnu obradu tokarenih izradaka, a doprema materijala, stezanje, ukopčavanje brzina, posmika i ostali potrebni pokreti izvode se automatski. Izraci se obrađuju iz šipkastog materijala ili iz kovanih komada. Izradak obavlja radno rotacijsko kretanje, dok sva ostala kretanja obavlja alat. Prema broju radnih vretena automati se dijele u jednovretene i viševretene. Na jednovretenom automatu obrađuje se izradak po izradak, dok se na viševretenom istodobno obrađuje više njih, i to obično tako da je svaki u drugoj fazi obrade.

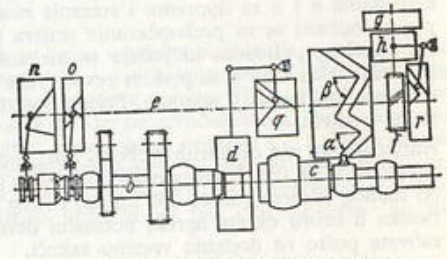


㉒ Princip rada automata

Jednovreteni automati se prema načinu upravljanja dijele na jednokrivuljne, višekrivuljne i automate s pomoćnom upravljačkom osovinom. ㉒ prikazuje shematski vrlo zorno princip rada jednostavnog jednovretenog automata. Izradak je upet steznom čahurom radnog vretena 3, a materijal (šipka) za novi izradak doprema se pomoću dopremne čahure 1. Prsten 2 služi za aktiviranje stezne čahure. Sa 1 i 2 upravlja se pomoću krivulja na bubnjevima 11 i 12 preko poluga. Bubnjevi 11 i 12 nalaze se na upravljačkoj osovini 5, koja dobiva pogon od puža i pužnog kola 9 i 10. Kompletna obrada izratka izvrši se tokom jednog okreta upravljačke osovine 5. Alati se nalaze na poprečnim suportima 7 koji su pokretani krivuljama 8 preko sistema poluga. Alati za uzdužnu obradu i bušenje nalaze se na revolverskoj glavi, a pokreću ih revolverske saonice 4 od krivulje na bubnju 6. To je osnovni princip rada automata, od kojeg pojedini sistemi odstupaju u stanovitim varijacijama.



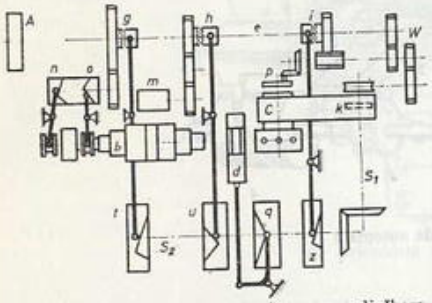
㉓ Shema jednokrivuljnog automata



㉔ Shema višekrivuljnog automata

Jednokrivuljni automat ima samo jednu krivulju za upravljanje hoda revolverskih saonica. ㉓ prikazuje shematski princip rada jednokrivuljnog automata. Radno vreteno *b* dobiva pogon preko zupčanika, lančanika ili remenice, a za vrijeme rada postoji mogućnost da se izmijeni broj okreta. Prekopčavanje se izvodi upravljačkom osovinom *e*. Krivulja na bubnju *n* služi za upravljanje dopreme materijala, a na bubnju *o* za stezanje.

Krivulja na bubnju q služi za pokretanje poprečnog suporta d. Pužno kolo f pokreće bubanj k, a preko zupčanika l i m upravljačku osovinu e. Fiksni koturić osigurava aksijalni posmik revolverskoj glavi c preko krivulje na bubnju k. Prijenosni odnos zupčanika m i l jednak je broju zakreta revolverske glave (obavlja se na kraju povratnog hoda) jer upravljačka osovina za obradu kompletnog izratka izvrši jedan okret. Da bi se skratilo vrijeme praznog hoda kod potrebnih raznih dužina radnog hoda alata na revolverskoj glavi, ukopčava se brzi hod upravljačke osovine jer revolverska glava ima uvijek istu dužinu posmičnog kretanja, koja je određena najvećom dužinom izratka. Ujedno se tehnološki potrebna brzina posmika bira preko krivulje na bubnju r preko pogona i prijenosnika (g, h) za pogon puža za pokretanje pužnog kola f.



㉓ Shema automata s pomoćnom upravljačkom osovinom

Višekrivuljni automat ima bubanj na upravljačkoj osovini s nizom krivulja, tj. svaki hod revolverske glave upravljan je vlastitom krivuljom. ㉔ prikazuje princip rada višekrivuljnog sistema; oznake i rad odgovaraju (osim upravljanja revolverskom glavom) jednokrivuljnom sistemu ㉓.

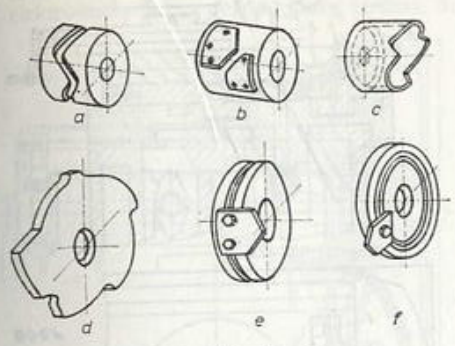
Najčešće se susreće automat s pomoćnom upravljačkom osovinom, a prednost su mu izvanredno kratka pomoćna vremena. ㉕ prikazuje princip rada automata s pomoćnom upravljačkom osovinom. Pomoćna upravljačka osovina e dobiva pogon od remenice A. Preko izmjenljivih zupčanika w, puža i pužnog kola dobivaju dalje pogon upravljačka osovina S_1 i preko para stožnih zupčanika upravljačka osovina S_2. Izmjenom zupčanika w regulira se vrijeme jednog okreta upravljačkih osovina S_1 i S_2, čime je određen ciklus obrade izratka. Na upravljačkoj osovini S_1 nalazi se ploča s krivuljom k, koja preko polužnog sistema pomiče revolverske saonice. Ploča s krivuljama k izraduje se za svaki izradak, a svaka pojedina krivulja određena je na temelju potrebne dužine hoda i posmika revolverske glave za dotičnu fazu obrade. Na upravljačkoj osovini S_2 nalaze se bubnjevi s krivuljama t, u i z za upravljanje sa spojkama g, h i i, te ploče s krivuljama q, koje služe za pogon poprečnih suporta. I te se krivulje moraju izraditi posebno za određenu fazu obrade. Pomoćna osovina rotira relativno brzo, pa se uključivanjem spojki g, h, i obavljaju brzo pomoćna kretanja. Spojkom g dobiva pogon preko zupčaničkog para bubanj s krivuljama n i o za dopremu i stezanje materijala. Spojkom h preko zupčanika dobiva pogon bubanj m za prekopčavanje smjera rotacije radnog vretena b. Spojkom i preko zupčaničkog prijenosa uključuje se mehanizam za deblokiranje i ponovno blokiranje, kao i malteški križ p za prekret revolverske glave. To zakretanje izvodi se u vrlo kratko vrijeme, čak ispod 1 sekunde. Prema potrebi ono se može podesiti tako da se preskače jedna podjela.

Automat ima niz dodatnih pribora, npr. suport s vretenom za glodanje (urezivanje proCijepa itd.). Za urezivanje navoja opskrbljen je dodatnim vretenom s većim brojem okreta od radnog vretena (do 10 000 o/min) i istog smjera. Vreteno ima lijevi smjer pa se zbog razlike u broju okreta nareže normalni desni navoj. Alat za urezivanje navoja izlazi iz zahvata pošto se dodatno vreteno zakoči.

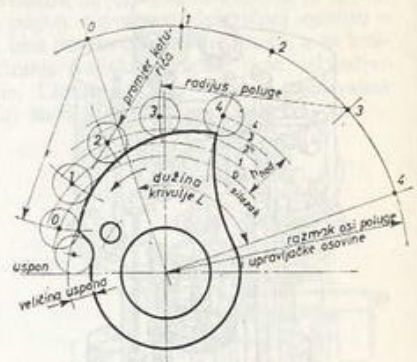
Osim opisanih automata često se upotrebljavaju i automati bez saonica s revolverskom glavom, tj. samo s nizom jednostavnih suporta (većinom zvjezdasto rasporedenih). Pogon svakom suportu daje ploča s krivuljom preko sistema poluga, no samo u radijalnom smjeru, dok dužinski posmik izvodi radno vreteno s izratkom kome pogon daju krivulje na upravljačkoj osovini.

Osim mehanički upravljanih automata u posljednje vrijeme razvijeni su i automati s hidrauličkim, električkim ili kombiniranim sistemom upravljanja.

Krivulje za upravljanje izvode se, kako se vidi na ㉖, uglodavanjem kanala u puni bubanj (a), povijanjem limene forme na bubanj (b), oblikovanjem lončastog bubnja (c), zatim u obliku pločaste šablone (d) te kao podesivi sistemi s T-utorom na plaštu valjka (e) ili na čelu ploče (f).



㉖ Upravljačke krivulje



㉗ Konstrukcija krivulje

㉗ prikazuje način oblikovanja upravljačke krivulje. Dužina krivulje (luk) određena je vremenom obrade. Za zadani broj okreta upravljačke osovine u minuti n_k, potrebnog hoda h u mm, broja okreta radnog vretena n o/min i posmika s u mm/o dužina krivulje izražena je u stotim dijelovima podjele krivuljne ploče:

$$L = \frac{n_k \cdot h}{n \cdot s} \cdot 100$$

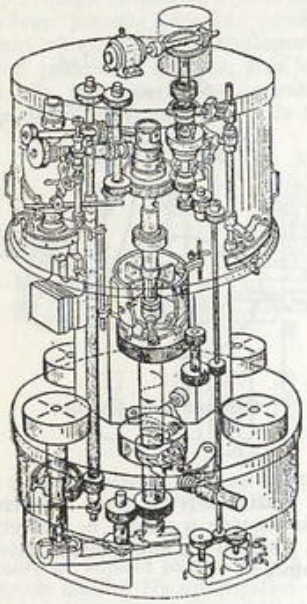
ili u lučnim stupnjevima:

$$L = \frac{n_k \cdot h}{n \cdot s} \cdot 360°$$

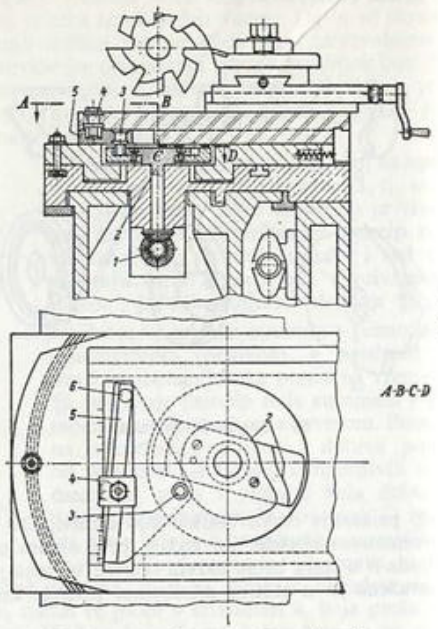
Broj okreta upravljačke osovine n_k jednak je broju izradaka obrađenih u minuti. Konstruktivnom izvedbom automata zadane su veličine, i to udaljenost osi okretišta poluge i upravljačke osovine, radijus poluge i promjer koturića poluge. Oblik krivulje za uspon i silazak koturića na radni dio krivulje propisuje također proizvođač stroja u opisu upotrebe. Radni dio krivulje, prikazan na ㉗ konstruiran je za polužni prijenos 1 : 1, što je najčešći slučaj kod automata. Kod nekih izvedbi postoji, međutim, mogućnost podešavanja prijenosa u svrhu korištenja iste krivulje za više raznih slučaja. Pri crtanju radnog dijela krivulje potrebno je zbog točnosti podijeliti krivulju na što više dijelova (na slici samo 4).

Viševreteni automati upotrebljavaju se za masovnu fabrikaciju. Izvode se sa 4, 6 ili 8 radnih vretena u horizontalnoj ili vertikalnoj izvedbi. Stroj ima niz poprečnih suporta i centralne uzdužne saonice. Ove imaju broj pričvrsnih ploha za nosače alata jednak broju radnih vretena. Radna vretena uležištena su u bubnju, koji se zakreće nakon svake faze obrade za jednu diobu, i nose izradak u svakom vretenu po pravilu u drugoj fazi obrade. Alati obavljaju pri tome samo posmična kretanja te nakon svakog zakreta bubnja dolaze u zahvat s izratkom na drugom radnom vretenu. Vrijeme obrade jednog izratka približno je jednako vremenu obrade na jednovretenom automatu. Međutim, budući

da se istodobno obraduje više izradaka, proizvodnost viševretenog automata veća je od jednovretenog za broj vretena viševretenog automata. ㉘ prikazuje shematski kinematiku jedne izvedbe šesterovretenog vertikalnog automata.



㉘ Princip viševretenog automata



㉙ Suport stroja za natražno tokarenje

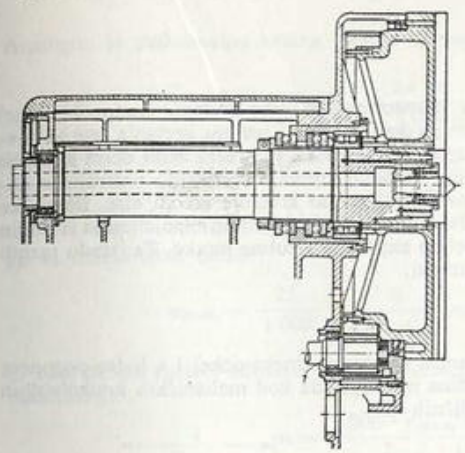
212.020.8 Tokarilice za natražno tokarenje

Tokarilice za natražno tokarenje služe za izradu glodala, kao i za obradu neokruglih izradaka, ako se njihov presjek može ostvariti krivuljnim pogonom. ㉙ prikazuje princip rada tokarilice za natražno tokarenje. Izradak (glodalo) je učvršćen u radno vreteno, koje je kinematski povezano s vretenom 1, kao i s posmičnim vretenom. Vreteno 1 daje pogon kolu C s krivuljom 2. Fiksni čep sa suporta gura krivulja 2, pa alat izvodi oscilatorno kretanje, tj. ulazi u izradak po Arhimedovoj spirali (teoretski bi trebalo po logaritamskoj) i u utoru naglo izlazi. Pri obradi odvalnog glodala za obradu zupčanika posmično vreteno pokreće uzdužno suport kako bi se obradio zadani uspon. Na ㉙ je čep 3, koji gura šablona, učvršćen na poluzi 5 u svrhu kontinuiranog biranja potrebnog hoda suporta bez promjene šablone. To se obavlja premještanjem čepa 4 na poprečnom suportu, dok se fiksno okretište 6 poluge 5 nalazi na suportnoj ploči. Dužina hoda suporta ovisna je o dužini od okretišta 6 do čepa 4. Da brzo vraćanje suporta ne bi imalo loših posljedica s obzirom na kvalitetu obrade, tokarilice za natražno tokarenja izvedene su posebno kruto. Snaga elektro-motora kreće se od 1,5 do 5 kW. Brojevi okreta radnog vretena iznose 1,5 do 350 o/min, a najveći hod pri natražnom tokarenju 16 do 30 mm.

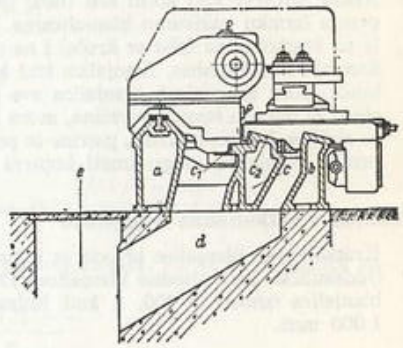
212.020.9 Teške tokarilice

Za grubu i finu obradu vrlo teških izradaka (težine do 200 t) služe teške tokarilice, a njihova posebna izvedba su tokarilice za obradu valjaka za valjaoničke stanove. Ti su strojevi principijelno slični velikim univerzalnim tokarilicama. Radno vreteno ㉚ nosi zahvatnu glavu, koja dobiva pogon direktno od zupčanika 1 tako da radno vreteno nije

opterećeno na torziju. Postelja leži na posebnom fundamentu s otvorima za odvod strugotine. Vodilice za jahač i suporte međusobno su razmaknute i jako robustne, a izvedba je takva da se suporti mogu slobodno kretati i pokraj jahača ㉛. Teška tokarilica ima nekoliko suporta (za grubu obradu, za utokarivanje i za kalibriranje). Suporti obično imaju vlastiti pogon. U izvedbi s mogućnošću rezanja navoja pogon suporta je mehanički vezan s vretenom ili je elektro-motor za pogon suporta u električnoj osovini s elektro-motorom za pogon radnog vretena. Stroj ima posebno izvedene linete, a za kalibriranje valjaka izradak nose isključivo one. Linete također nose i protuvaljak koji služi kao šablona.



㉚ Radno vreteno teške tokarilice

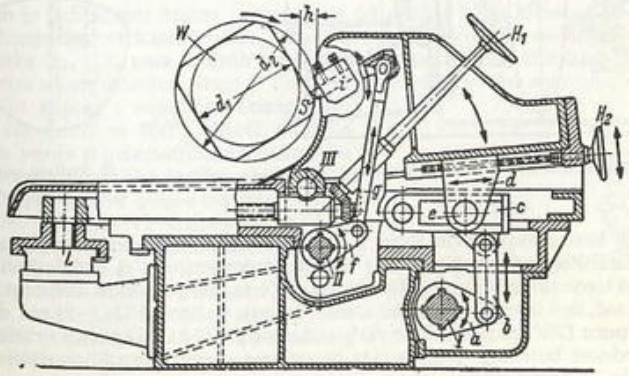


㉛ Postelja teške tokarilice

Teške tokarilice grade se za obradu s maksimalnim zakretnim momentom na steznoj ploči do 25 000 kp. m. Brojevi okreta radnog vretena kreću se od 0,7 do 250 o/min. Visina šiljaka teških tokarilica kreće se od 800 do 2 000 mm, a razmak šiljaka od 2 000 do 25 000 mm.

212.021.0 Tokarilice za obradu ingota

Za skidanje tvrde kore na ingotu prije njegove daljnje obrade valjanjem služe tokarilice za obradu ingota. Ovaj se obrađuje odjednom, i to samo grubom obradom. Stoga su to



㉜ Tokarilica za obradu ingota

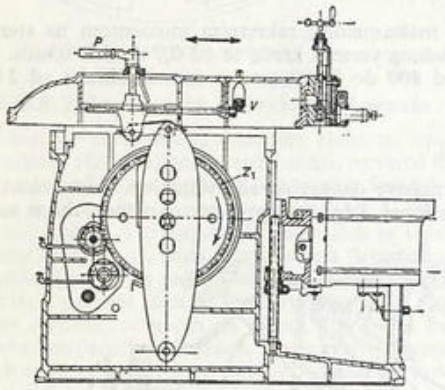
strojevi velikih dimenzija i velikih instaliranih snaga. Budući da je ingot krnja višestrana piramida sa zaobljenim rubovima, alat mora izvršiti njihanje, što se postiže polužnim mehanizmom ⑫. Uređaj za konično tokarenje (L) služi pri obradi za praćenje koniciteta plašta ingota, a taj je piramidalnog oblika. Za obradu ingota postoje i hidrokopirni uređaji, koji se prigrađuju na težu tokarilicu, dok ingot vodi ticalo kopirnog uređaja tako da je sam sebi šablona.

212.03 BLANJALICE

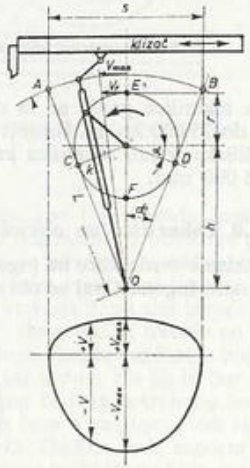
Alatne strojeve kod kojih alat (nož) ima pravocrtno relativno kretanje (radno kretanje) prema izratku nazivamo blanjalicama. Prema dužini hoda i načinu kretanja one se dijele na kratkohodne (alat se kreće) i na dugohodne (izradak se kreće). Kod obiju je radno kretanje horizontalno. Blanjalice kod kojih je radno kretanje vertikalno nazivaju se dubilice. Kod specijalnih blanjalica sva pomoćna i radno kretanje izvodi alat. Blanjalice služe za obradu ravnih površina, utora i raznih profila. Specijalnim blanjalicama izrađuju se alati za štance, matrice, patrice te posebno zupčanici i zubne motke. Za izradu raznih profila blanjalice mogu imati kopirni uređaj.

212.031 Kratkohodne blanjalice

Kratkohodne blanjalice izvode se s kulisnim pogonom (mehaničke) i s hidro-pogonom (hidrauličke kratkohodne blanjalice). Dužina radnog hoda kod mehaničkih kratkohodnih blanjalica iznosi do 700, a kod hidrauličnih do 1 000 mm.



① Mehanička kratkohodna blanjalica



② Kulisni pogon

Mehaničke kratkohodne blanjalice ① imaju kulisni pogon za ostvarivanje pravocrtnog gibanja alata. Pogonska ručica rotira konstantnom brzinom v_r i njiše kulisu k oko okretišta O. Pri tome slobodni kraj kulise preko omče za kompenzaciju dužine povlači naprijed-nazad klizač, koji je ujedno nosilac alata. Na putu ručice CFD ② klizač dobiva povratni hod, a na putu DEC radni hod. Iz razlike dužine DEC i CFD slijedi i razlika u brzinama, što je prednost kulisnog pogona jer je vrijeme povrata izgubljeno vrijeme. Pri broju okreta n je obodna brzina ručice:

$$v_r = \frac{2r \cdot \pi \cdot n}{1\,000}$$

a maksimalna brzina klizača u radnom hodu:

$$v_{max_1} = v_r \cdot \frac{L}{h + r} = \frac{2r \cdot \pi \cdot n \cdot L}{1\,000\,(h + r)}$$

Analogno je maksimalna brzina klizača u povratnom hodu:

$$v_{max_2} = \frac{2r \cdot \pi \cdot n \cdot L}{1\,000\,(h - r)}$$

Dužina hoda klizača je:

$$s = \frac{2r \cdot L}{h}$$

pa su maksimalne brzine:

$$v_{max_1} = \frac{2L \cdot s \cdot \pi \cdot n}{1\,000 \cdot (2L + s)};\quad v_{max_2} = \frac{2L \cdot s \cdot \pi \cdot n}{1\,000 \cdot (2L - s)}$$

ili broj okreta ručice, odnosno broj dvostrukih hodova klizača, što je za blanjalice karakteristično:

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_{max_1} \cdot (2L + s)}{2 \cdot L \cdot s \cdot \pi}$$

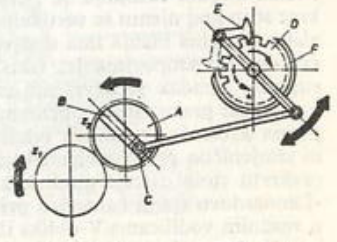
Za vijek trajanja alata važna je srednja brzina. Ona se dobije iz dužine hoda klizača i pripadajućeg vremena:

$$v_{m_1} = \frac{s}{t_1} \quad \text{gdje je:}$$

$$t_1 = \frac{180° + 2\alpha}{360°} \cdot \frac{1}{n} \quad \text{i} \quad \sin\alpha = \frac{s}{2L} \quad \text{pa je:}$$

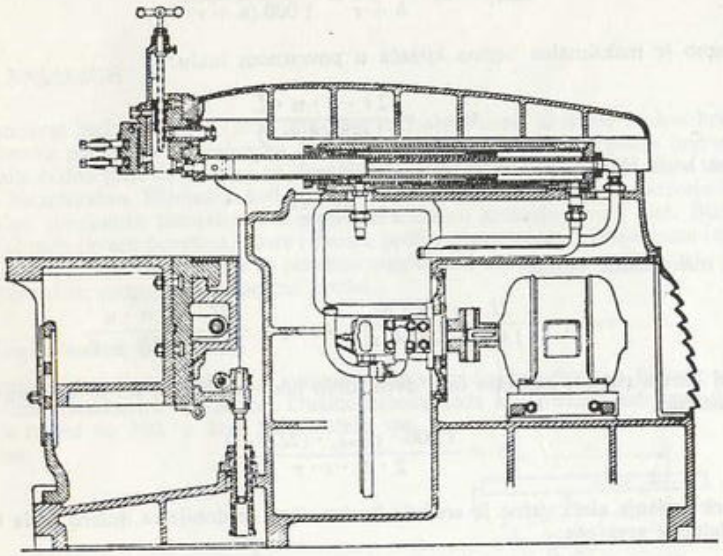
$$v_{m_1} = s \cdot n \cdot \frac{360°}{180° + 2\alpha}$$

Na ② prikazan je i dijagram brzina u zavisnosti od dužine hoda klizača. Ta se dužina podešava veličinom ekscentriciteta ručice, a izvodi se preko osovinice smještene u osovinu velikog zupčanika (z_1, ①), para stožnih zupčanika i vijka. Položaj klizača s obzirom na izradak premješta se otpuštanjem stege P i zakretanjem vijka preko osovinice v. Na čelu klizača nalazi se suport s nosačem reznog alata koji se može zakrenuti za 360°. Klizač klizi na glavnom tijelu stroja u prizmatičnim četvrtastim kliznim vodilicama ili oblika lastina repa. Velik pogonski zupčanik dobiva pogon od stepenastog prigona, obično u 9 do 12 stupnjeva ili, kod malih strojeva, od bestepenog mehaničkog prigona, a broj dvostrukih hodova klizača kreće se obično od 9 do 140 u minuti. Snaga pogonskog elektro-motora dosiže do 8 kW. Posmik stola postiže se preko posmičnog vijka i mehaničkog pogona s čegrtaljkom ③. Na kraju osovine velikog zupčanika smješten je mali zupčanik z_1, koji



③ Mehanizam za posmik stola

daje pogon zupčaniku z_2 na kulisi za kompenzaciju dužine, a nosi ploču A s ekscentrom C, podesivim u kanalu B. Ekscentar njiše polugu s čegrtaljkom E, koja zakreće posmični vijak. Zavisno o broju zubaca kola D koje zahvaća čegrtaljka dobiva se posmik od 0,1 do 2,5 mm po dvostrukom hodu klizača.

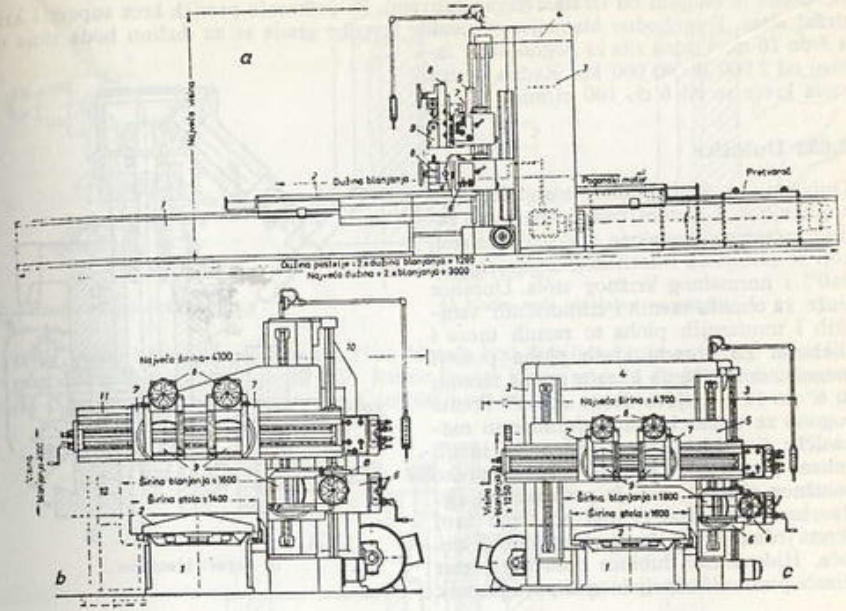


④ Hidraulička kratkohodna blanjalica

④ prikazuje hidrauličku kratkohodnu blanjalicu. Klizač dobiva pogon preko diferencijalnog klipa, čime se postiže velika povratna brzina. Rezne brzine klizača duž gotovo čitavog hoda su konstantne, a mijenjaju se kontinuirano od oko 4 do 40 m/min. Pogonska snaga hidrauličkih kratkohodnih blanjalica dosiže do 15 kW.

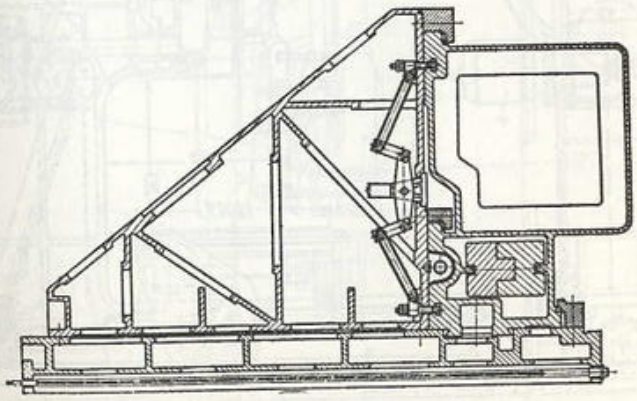
212.032 Dugohodne blanjalice

Dugohodne blanje, za razliku od kratkohodnih, služe za obradu dugačkih izradaka. Prema izvedbi razlikuju se portalne ⑤ c i konzolne blanje ⑤ b. Te druge imaju vrlo krut stup i po njemu se vertikalno pomiče vrlo kruta konzola koja nosi suporte s držačima alata. Portalna blanja ima dva vertikalna stupa ukrućena horizontalnom gredom u oblik portala. Po stupovima je, također, vertikalno pomično horizontalno brvno koje nosi suporte. Izradak se učvršćuje na stol, koji izvodi radno kretanje. Pogon stolu daje se mehanički preko zubne pužne motke ili hidraulički preko stapnog pogona. Za mehanički pogon kretanje se dobiva od istosmjernog elektro-motora u Ward-Leonardovu spoju ili izmjenično preko mehaničkog prijenosnika i spojki za prekret stola lijevo-desno. Pri prekretu stola nastaje gubitak kinetičke energije, koji je za pogon motorom u Ward-Leonardovu spoju najveći, a pri hidrauličkom pogonu najmanji. Stol se vodi na postelji u snažnim vodilicama V-oblika ili prizmatičnog oblika. Sva ostala kretanja (osim radnog) izvodi alat, a da bi se postigla što točnija obrada, brvno, odnosno konzola su pri radu



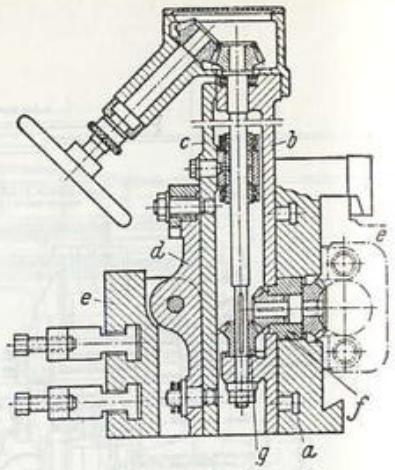
⑤ Dugohodna blanjalica (a — pogled sa strane, b — konzolna izvedba, c — portalna)

posebno fiksirani. ⑥ prikazuje presjek kroz konzolu s polužnim sistemom za fiksiranje. Vertikalno pokretljivi dijelovi stroja (konzola, brvno) uravnoteženi su protuutezima. Posmici, kao i brza premještanja, postižu se posebnim elektro-motorima, a kod manjih strojeva preko polužnog sistema od glavnog kretanja. Prijenosnik za posmik izveden je s kulisnim mehanizmom i kočenjem tako da alat dobiva posmik za vrijeme povratnog



⑥ Presjek kroz konzolu i stup konzolne blanjalice

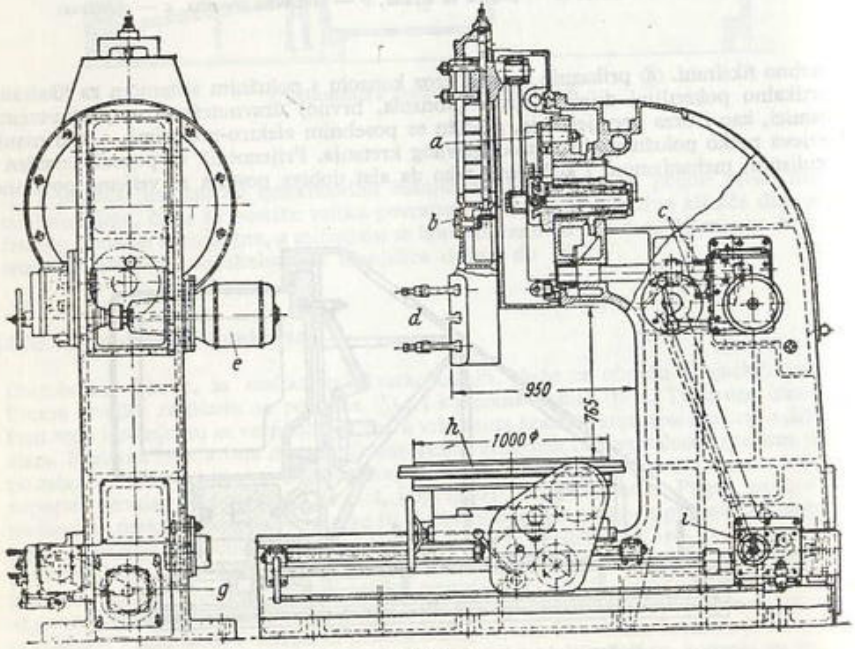
hoda kad je odignut od izratka (izvan zahvata). ⑦ prikazuje presjek kroz suport i kroz držač alata. Dugohodne blanjalice normalne izvedbe grade se za dužinu hoda stola od 1,5 do 16 m. Vlačna sila za pogon stola iznosi od 2 000 do 40 000 kp. Radna brzina stola kreće se od 6 do 100 m/min.



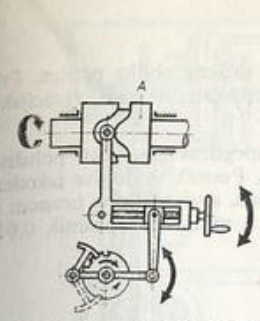
⑦ Suport blanjalice

212.033 Dubilice

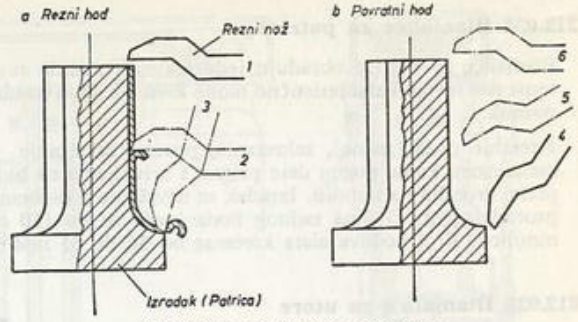
Dubilice su kratkohodne blanjalice kod kojih klizač s alatom izvodi vertikalno radno kretanje. Izradak se učvršćuje na stol, koji se sastoji od rotacijskog (zakretanje za 360°) i normalnog križnog stola. Dubilice služe za obradu ravnih i cilindričnih vanjskih i unutarnjih ploha te raznih utora i žljebova. Za obradu kosih ploha postoji mogućnost nagibanja klizača prema izratku za 6° do 12° ili lijevo-desno do 45°. Prema pogonu za radno kretanje dubilice su mehaničke ili hidrauličke. Mehaničke imaju kulisni pogon ⑧, a posmik dobivaju preko polužnog sistema, koji je prikazan na ⑨. Osovina s bubnjem A ima pri tome broj okreta jednak broju dvostrukih hodova klizača. Hidrauličke dubilice dobivaju pogon klizača preko diferencijalnog klipa, a posmik



⑧ Dubilica

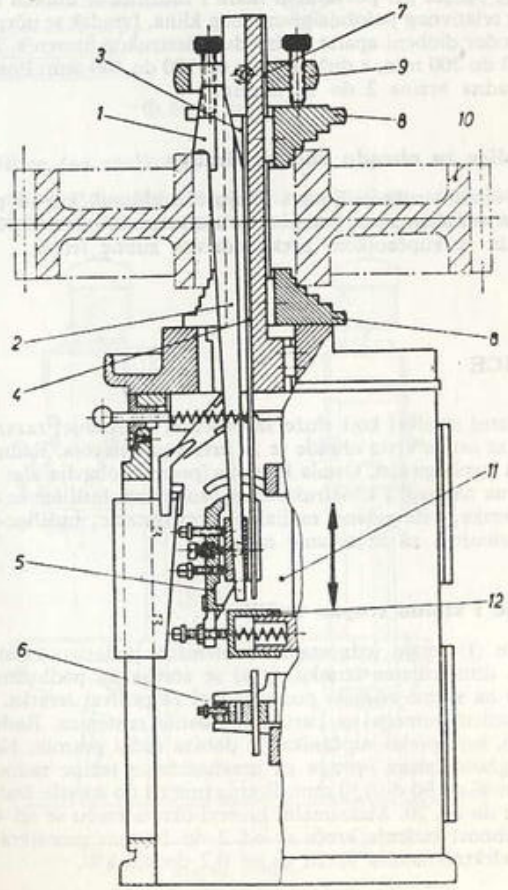


⑨ Mehanizam posmika dubilice



⑩ Način rada blanjalice za patrice

stola preko hidrauličnog sistema. Hod klizača kod dubilica kreće se do 1,7 m, a snaga pogonskog motora čak do 30 kW. Rezne brzine kreću se od 6 do 30 m/min, a posmici od 0,1 do 4 mm/hod, odnosno 1,4 do 100″/hod.



⑪ Blanjalica za utore

212.034 Blanjalice za patrice

Blanjalice za patrice obrađuju jednostavnim reznim nožem složene oblike patrica. Pri tome nož izvodi karakteristično radno kretanje ⑩, a izradak poprečan, uzdužni i rotacijski posmik.

Kretanje noža (radno), zakretanje, povrat, zakretanje — omogućava poseban polužni mehanizam kome pogon daje prigon s krivuljama na bubnju. Posmik se dobiva također preko krivulja na bubnju. Izradak se učvršćuje u diobenu glavu, a ukrućuje se brvnom i protudržačem. Dužina radnog hoda kreće se do 110 mm, a minimalan posmik 0,01 mm/hod. Broj hodova alata kreće se od 36 do 65 hod/min.

212.035 Blanjalice za utore

Blanjalice za utore služe za obradu utora u pojedinačnoj ili maloserijskoj proizvodnji. Radno i posmično kretanje obavlja alat. Nož, vidi ⑪, pričvršćen je na reznoj motki, koja se vodi u cilindričnoj vodilici zajedno s posmičnom motkom i klinom.

Faznim pomakom na početku kretanja između rezne motke i posmične motke postiže se oslobođenje oštrice pri povratnom hodu i zauzima se dubina rezanja pri radnom posmiku, a zbog relativnog položaja posmičnog klina. Izradak se učvršćuje steznim pločama. Stroj ima također diobeni aparat za izradu višestrukog utorenja. Promjer provrta izratka kreće se od 13 do 200 mm, a dužina hoda od 100 do 400 mm. Posmik iznosi 0,01 do 0,18 mm/hod, a radna brzina 2 do 12 m/min.

212.036 Blanjalice za obradu rubova limova

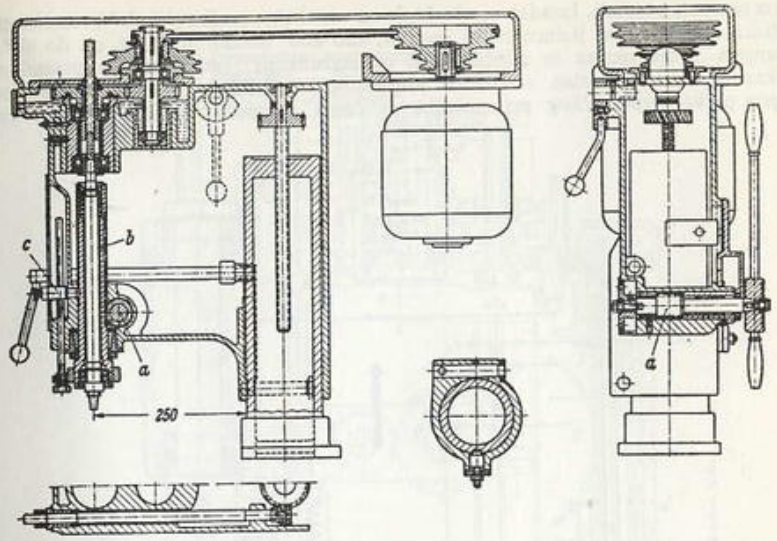
Blanjalice za obradu rubova limova imaju niz hidrauličkih ili pneumatskih stezača za lim i suport sa stezačem alata, koji obavlja sva kretanja (radno i posmična). Radni posmik suporta postiže se zupčanikom preko odrivne zubne letve.

212.04 BUŠILICE

Bušilice su alatni strojevi koji služe za bušenje, upuštanje, razvrtavanje, a u posebnim slučajevima i za ostale vrste obrade te za urezivanje navoja. Radno kretanje kod bušilica je rotacijsko, a izvodi ga alat. Ostala kretanja (posmik) obavlja alat ili izradak (zauzimanje pozicije). Prema namjeni i konstruktivnim osobinama bušilice se dijele u stolne, stupne, redne, revolverske, viševretene, radijalne, horizontalne, bušilice-glodalice, koordinatne, za duboko bušenje i za urezivanje navoja.

212.040.1 Stolne i stolno stupne bušilice

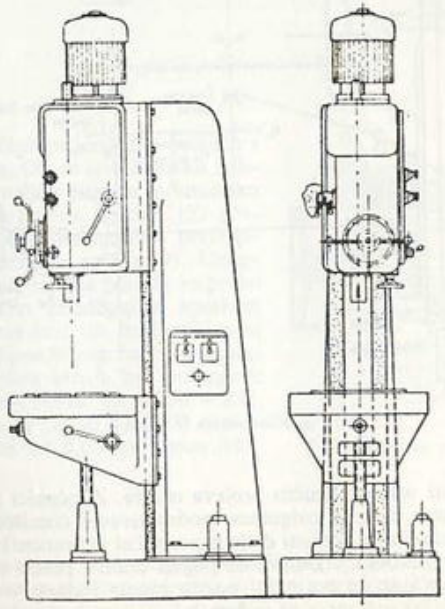
Stolne bušilice ① imaju jednostavno vreteništa, podesivo visinski na stupu u svrhu prilagođivanja dimenzijama izratka. Ovaj se stavlja na podložnu ploču. Stolno-stupne bušilice imaju na stupu visinski podesivi stol za prihvat izratka. Broj okreta obično se bira prebacivanjem remena na paru stepenastih remenica. Radno vreteno uležišteno je u pinoli (b), koja preko zupčanika (a) dobiva ručni posmik. Na osnovi zupčanika (a) učvršćena je gramofonska opruga za uravnoteženje težine radnog vretena s pinolom. Hod pinole iznosi od 30 do 150 mm. Brzina ima tri do najviše šest, a mjenjačko područje broja okreta je do B_n 20. Maksimalni brojevi okreta kreću se od 4 000 do 20 000 o/min. Najveća sposobnost bušenja kreće se od 2 do 16 mm promjera svrdla pri bušenju u puno. Snage elektro-motora kreću se od 0,2 do 0,8 kW.



① Stolna bušilica

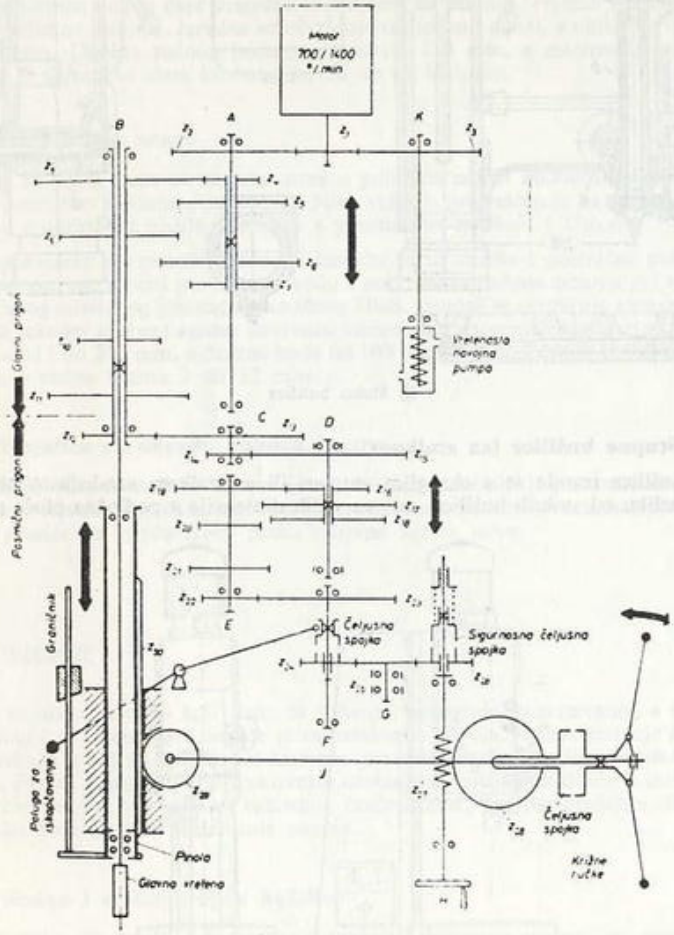
212.040.2 Stupne bušilice (sa stalkom)

Stupne bušilice izvode se s okruglim stupom ili sa stalkom sandučasto oblikovanim ②. Za razliku od stolnih bušilica, one su većih dimenzija a podložna ploča pričvršćuje



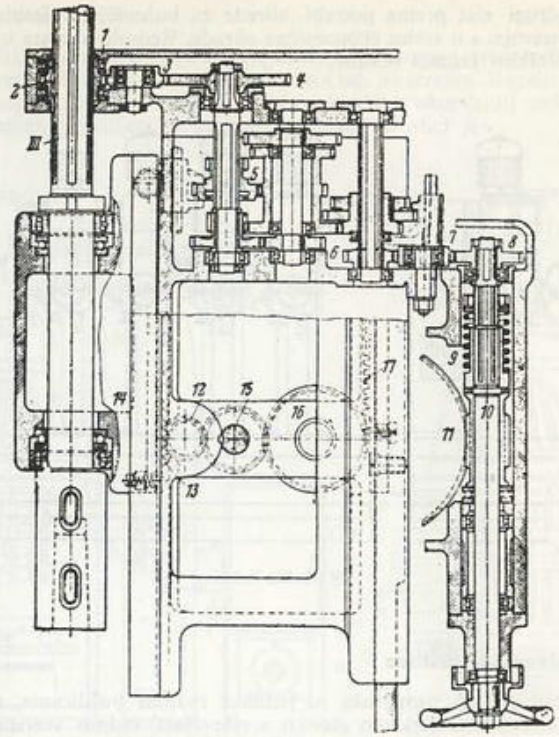
② Stupna bušilica

se na normalan temelj. Izradak se učvršćuje na vertikalno podesivi stol. Vreteništa stupnih bušilica izvode se od jednostavnih izvedbi, kao kod stolnih bušilica, pa do složenih s biranjem broja okreta sa zupčaničkim prijenosnikom i automatskim posmikom. ③ prikazuje shematski plan vreteništa stupne bušilice. Dvobrzinski elektro-motor daje pogon preko zupčaničkog prijenosnika sa četiri moguća prijenosa radnom vretenu,



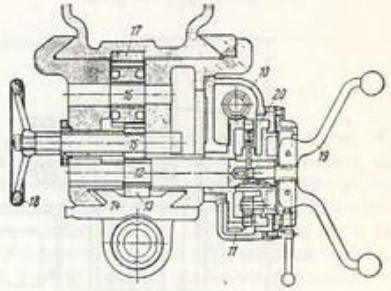
③ Kinematika bušilice

koje stoga može imati osam mogućih brojeva okreta. Zupčanici za pogon uljne pumpe u stalnom su zahvatu i time je osigurano podmazivanje čim se uključi elektro-motor. Od radnog vretena rotacija se prenosi dalje u posmični prijesnonik, u kom se mogu birati tri moguća posmika (mm/okr.). Daljnji se pogon dobiva preko sigurnosne spojke puža i pužnog kola na zupčanik za posmični pogon pinole radnog vretena. Čeljusne spojke služe za ukopčavanje i iskopčavanje na sudarniku automatskog posmika. ④ i ⑤ predočuju



④ Posmični prijenosnik bušilice

presjeke kroz posmični prijenosnik bušilice s dugačkim posmikom. On se izvodi preko zubne motke (17) na stalku čitavim posmičnim vreteništem ili preko zubne motke (13) posmičnim saonicama (14). Eventualno preopterećenje sprečava sigurnosna spojka (9). Ukopčavanje automatskog posmika postiže se preko ručica (19) posebnom kandžastom spojkom (20). Dubina bušenja kod tih bušilica iznosi 100 do 300 mm. Sposobnost bušenja iznosi 16 do 50 mm promjera svrdla pri bušenju u puno. Snaga elektro-motora iznosi do 4 kW. Brojevi okreta kreću se od 60 do 1 500 o/min, a automatski posmici od 0,05 do 1 mm /okr.

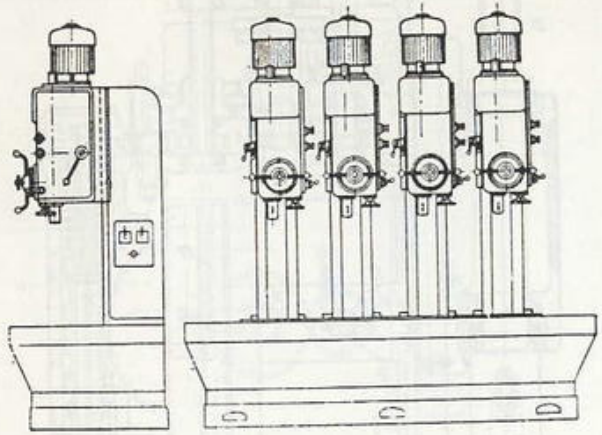


⑤ Spojka za ukopčavanje posmika

212.040.3 Redne bušilice

Redne bušilice ⑥ sastoje se od čvrstog stola na kome je u redu učvršćen niz stolnih, stupnih bušilica ili bušilica sa stalkom jednakih ili raznih veličina. Te bušilice služe za obradu izradaka uprtih u bušnom ormariću u serijskoj proizvodnji, pri čemu svaka od bušilica

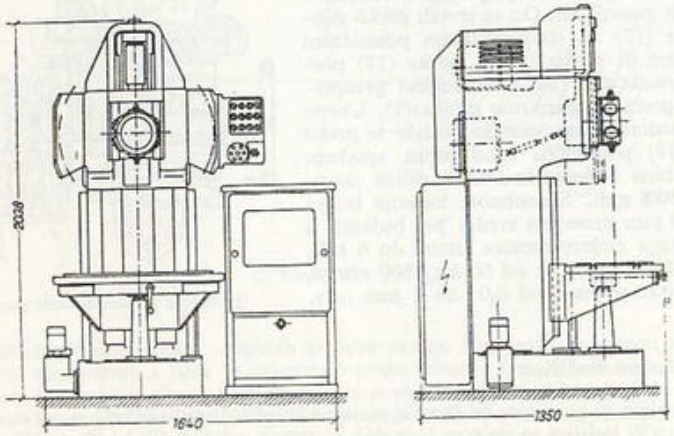
upotrebljava drugi alat prema potrebi obrade za bušenje, upuštanje, razvrtavanje ili za urezivanje navoja, a u svrhu ekonomične obrade. Redoslijed alata u pojedinoj bušilici ovisi o tehnološkim fazama obrade.



⑥ Redna bušilica

212.040.4 Revolverske bušilice

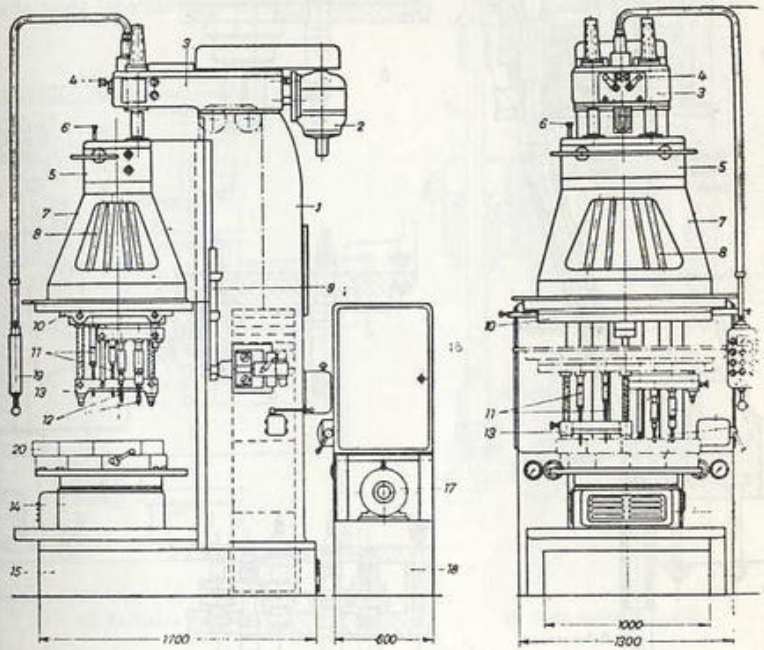
Revolverske bušilice ⑦ namjenski su jednake rednim bušilicama, a karakterizira ih stroj sa specijalnom revolverskom glavom s više (šest) radnih vretena, u koja su upeti alati, ili posebnim šaržerom s nizom radnih vretena ili šaržerom za alat i posebnim mehanizmom za izmjenu alata. Posmik kod tih bušilica obično je hidraulički i mijenja se kontinuirano. Revolverske bušilice redovito su programirane.



⑦ Revolverska bušilica

212.040.5 Viševretene bušilice

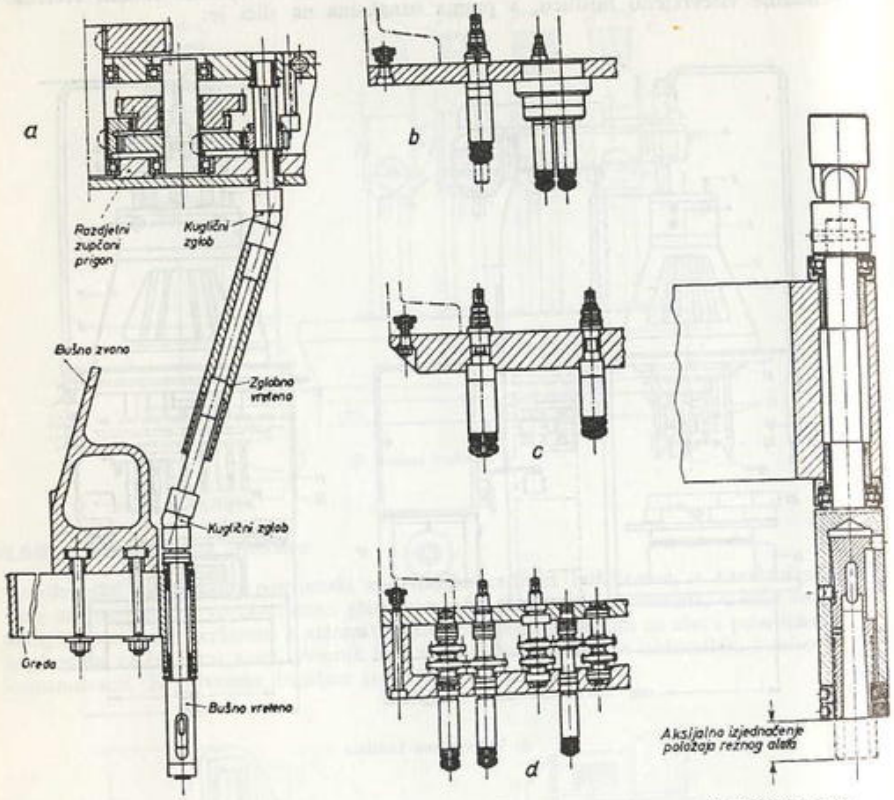
Viševretene bušilice upotrebljavaju se u serijskoj i masovnoj proizvodnji za istodobnu obradu niza provrta, upuštanja, urezivanja navoja itd. na izratku. Razvile su se iz stupnih bušilica dodavanjem nosača (»zvona«) za niz paralelno ukopčanih radnih vretena. ⑧ prikazuje viševretenu bušilicu, a prema oznakama na slici je:



⑧ Viševretena bušilica

1. sandučasti stalak, 2. pogonski elektro-motor, 3. zupčanički višestepeni prigon, 4. ručica za biranje brzina, 5. razdjelni prigon za paralelne radne osovine, 6. ručica za biranje separatne redukcije 1 : 2, 7. zvono, 8. niz teleskopskih vretena, 9. upravljačka motka, 10. ploča s uležištenjem radnih vretena, 11. bušna vretena, 12. alati, 13. bušna lineta, 14. radni stol, 15. podnožje, 16. ormar za elektro-opremu, 17. hidro-agregat za pogon posmičnih gibanja, 18. rezervoar za ulje, 19. komandna ploča i 20. stega za izratke. ⑨ prikazuje načine razmještaja radnih vretena, i to a) vreteno podesivo s pomičnom gredom — upotreba za manje serije, b) ploča s provrtima za izmjenljiva radna vretena, c) ploča s neizmjenljivim radnim vretenima i d) vretensko kućište s ugrađenim vretenima. Izvedbe b, c i d upotrebljavaju se za velike serije i za masovnu izradu. Vreteno (vidi izvedbu a) sastoji se od pogonskog izdanka, dvaju kardanskih zglobova, teleskopskog dijela i dijela za prihvat alata uležištenog za prihvat sila rezanja ⑩. Alat se prihvaća u vreteno s elementom za aksijalno podešavanje u svrhu prilagođavanja konfiguraciji izratka. Razmještaj radnih osovina na ploči, kao i bušna lineta treba da odgovaraju točnoj bušnoj slici izratka. Posmik kod viševretenih bušilica često je hidraulički, a strojevi su programirani. Ti se strojevi obično povezuju u nizove i dograđuju im se staze za dopremu

materijala. Viševretene bušilice grade se do učina 32 mm promjera svrdla, dok broj radnih vretena u agregatu iznosi do 40 kom. Posmici iznose od 0,01 do 2 mm/okr., aksijalna sila do 5 000 kp, a snaga pogonskog motora do 20 kW.



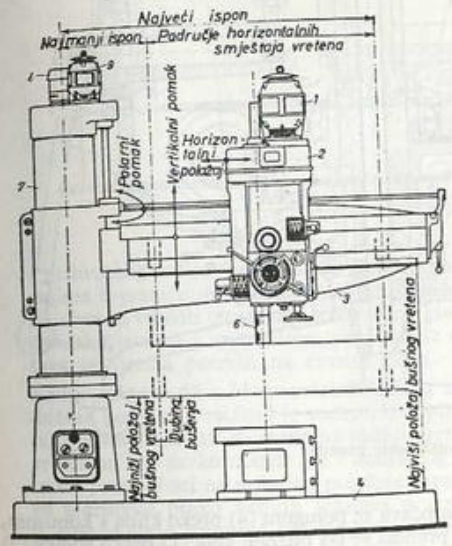
⑨ Pogon radnog vretena viševretene bušilice

⑩ Radno vreteno

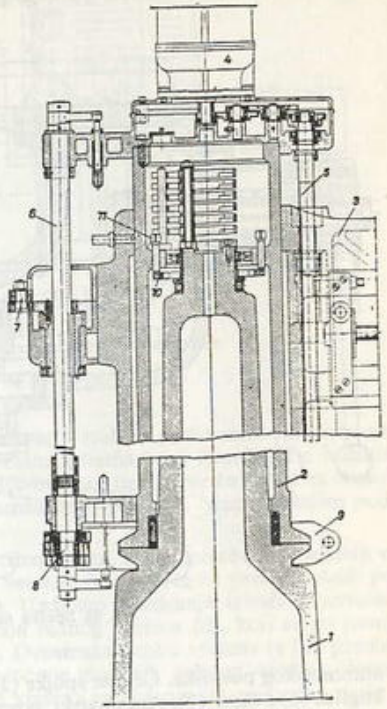
212.040.6 Radijalne bušilice

Radijalne bušilice služe za obradu bušenja, razvrtavanja itd. na većim i težim izracima, pa stoga sva kretanja (radna i pomoćna) obavlja alat. ⑪ prikazuje izgled radijalne bušilice, a sastoji se od temeljne ploče (4), na kojoj se učvršćuje izradak (za manje izratke upotrebljavaju se i nagibivi stolovi ili oni s diobenom pločom), stupa (7), na kom je radijalno zakretno brvno (3). Na vodilicama brvna je pomično vreteništе (2) s radnim vretenom. Brvno se može zakrenuti oko stupa za 360°, pa je temeljna ploča koji put izvedena kao dvostruka ili kružna za mogućnost postavljanja drugog izratka tokom vremena obrade prethodnog. Stup ⑫ se često izvodi kao dvostruki, tj. unutrašnji (1) fiksni i vanjski (2) zakretni s konzolom (3). U svrhu vrlo lakog zakretanja vanjski stup je uležišten na unutrašnjem na valjčastim i kugličnim ležajima. Za vertikalno pomicanje konzole na vanjskom stupu služi elektro-motor (4) s prijenosnikom i vretenom (5). Tokom procesa obrade treba da se spriječi mogućnost zakreta konzole. Zabravljivanje okretnog

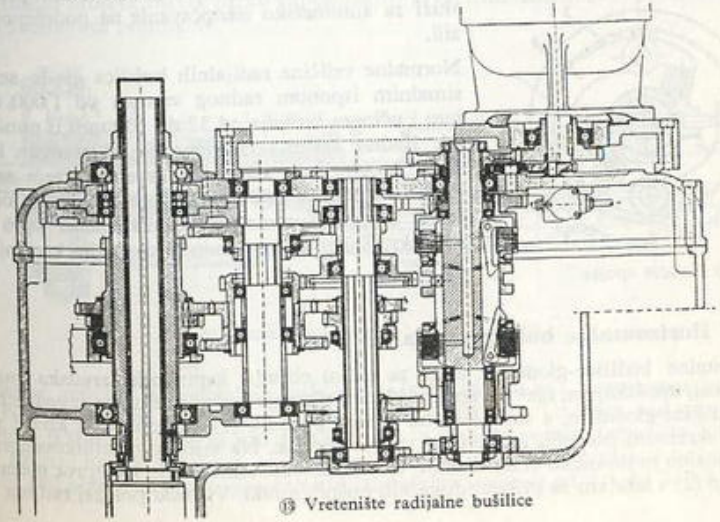
stupa na fiksnom postiže se mehanički ili hidraulički dvodijelnim konusnim čeljustima (9) preko dvostrukog ekscentra (8), osovine (6) i poluge (7). Okretni stup aksijalno je zavješen preko posebne lisne opruge (10), koja pri otpuštanju konusne čeljusti (9) podiže vanjski stup otprilike za 0,05 mm (podešavanje se izvodi vijcima 11) i tako se oslobada frikcijsko nalijeganje obaju stupova, pa se stup sada može lako zakretati na spomenu-



⑪ Radijalna bušilica

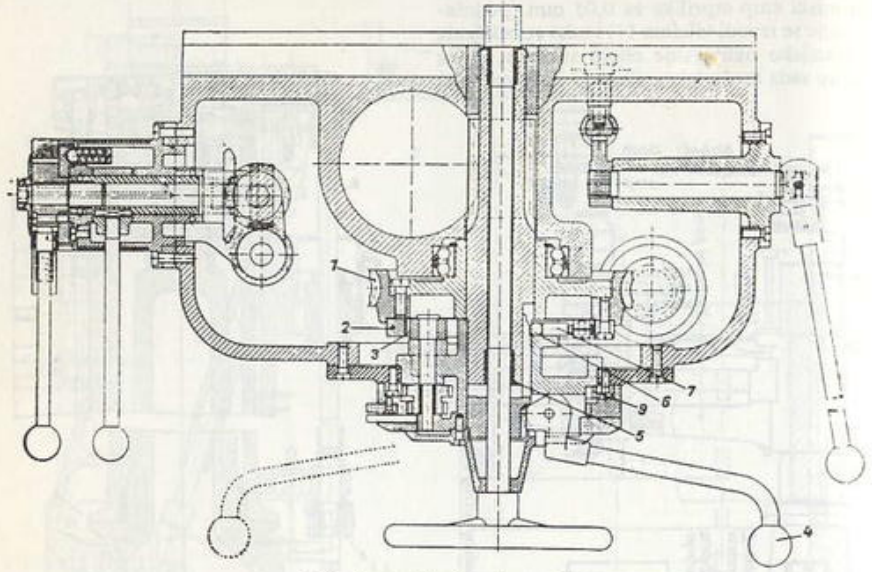


⑫ Stup radijalne bušilice



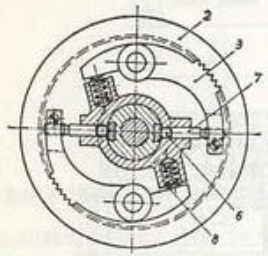
⑬ Vreteništе radijalne bušilice

tim ležajima. Konusna stega osigurava da ne dođe do podizanja stupa pri radu pod utjecajem aksijalne sile bušenja. ⑬ prikazuje presjek kroz prigon za radno kretanje glavnog vretena radijalne bušilice. ⑭ i ⑮ prikazuju presjek i izvedbu spojke za ukopčavanje



⑬ Spojka za ukopčavanje posmika

automatskog posmika. Čeljust spojke (3) ukopčava se polugom (4) preko klina s konusom, kuglica (6) i čepa (7). Automatski posmik prenosi se od pužnog kola (1) preko spojke (2) na osovinu za pogon pinole (5). Planetni prijenos (9) služi za automatsko iskopčavanje na podešenoj dimenziji.

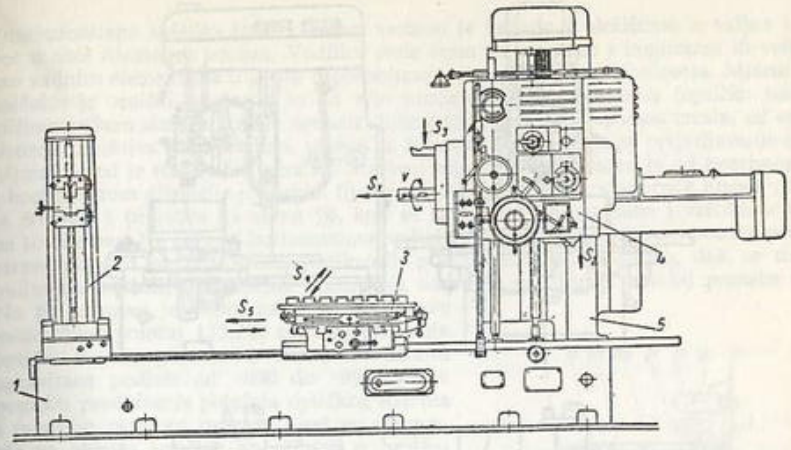


⑭ Kandže spojke

Normalne veličine radijalnih bušilica grade se s maksimalnim isponom radnog vretena od 1 000 do 3 500 mm i učinom bušenja od 32 do 100 mm u puni materijal. Radno vreteno izvedeno je Morseovim konusom 3 do 5 za prihvat alata. Hod vretena kreće se maksimalno od 300 do 500 mm, a brojevi okreta od 30 do 4 200 o/min. Automatski posmik iznosi 0,06 do 3,5 mm/okr. Snaga elektro-motora za radno kretanje dosiže 12 kW.

212.040.7 Horizontalne bušilice-glodalice

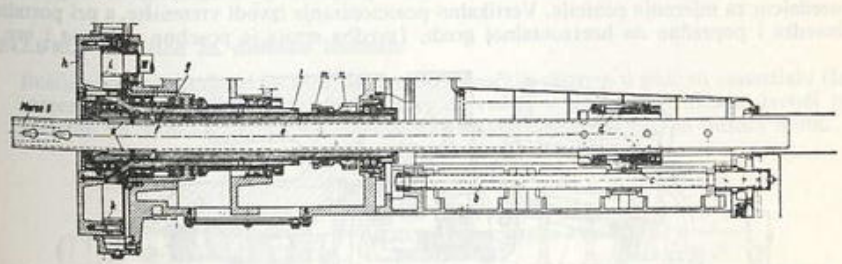
Horizontalne bušilice-glodalice služe za točnu obradu kapitalnih izradaka bušenjem, glodanjem, upuštanjem, razvrtavanjem itd. ⑯ prikazuje izgled normalne izvedbe horizontalne bušilice-glodalice, a sastoji se od krutog postolja (1) na kom klizi križni stol (3), često s okretnom pločom, na koju se upinje izradak. Na vrlo kruto oblikovanom stupu (5) vertikalno je pomično vreteništе (4) s radnim vretenom, dok je nasuprot njemu smješten stup (2) s ležajem za prihvat dugačkih bušnih motki. Visinski položaj radnog vretena



⑯ Horizontalna bušilica-glodalica

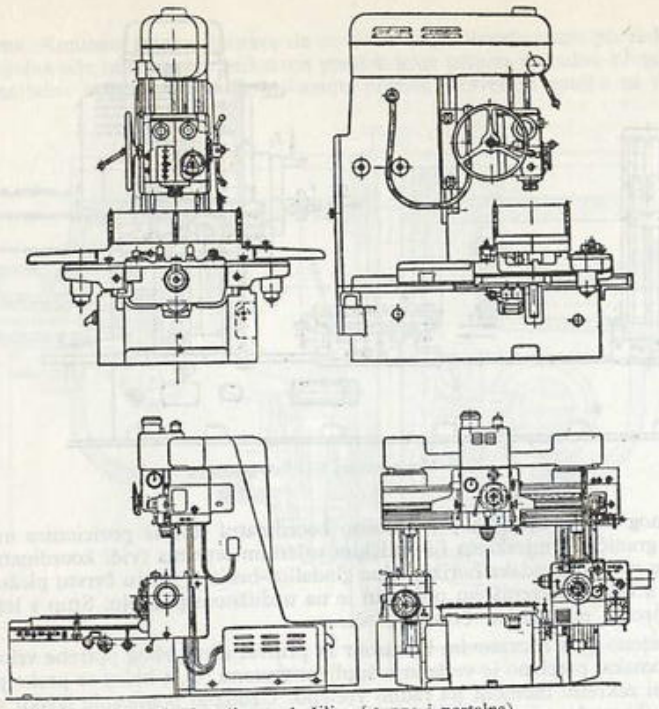
i prihvatnog ležaja zauzima se, odnosno koordinatni stol se pozicionira mjernim uređajima s graničnim mjerkama ili optičkim mjernim letvama (vidi koordinatne bušilice). Za obradu velikih izradaka horizontalne glodalice-bušilice imaju čvrstu ploču za stezanje izradaka, a stup s vreteništem pokretan je na uzdužnom postolju. Stup s ležajem podešava se prema potrebi na čvrstoj ploči.

Radno vreteno ⑰ s Morseovim konusom za prihvat alata, zbog potrebe vrlo velikih uzdužnih pomaka, precizno je vođeno u šupljem vretenu (e), s kojeg se preko plošnih pera (a) prenosi zakretni moment na radno vreteno. Uzdužno pomicanje izvodi se navojnim vretenom (b) preko matice (c) i aksijalnog ležaja radnog vretena (d), koji se po potrebi može premještati na nekoliko položaja vretena. Dvostruka šuplja vretena (e i f) precizno su uležištena preko valjnih ležajeva u svrhu točnog vođenja radnog vretena, vretena e, koje je često izvedeno kao glodaće vreteno, i vretena za nošenje (f) prihvatne ploče za plansku obradu. Prihvatna ploča dobiva pogon preko kandžaste spojke na vretenu (f) ili za manje brojeve okreta preko zupčanika (i) i (k). Prihvatna ploča izvodi se sa suportom s radijalnim posmikom.



⑰ Vreteno horizontalne bušilice-glodalice

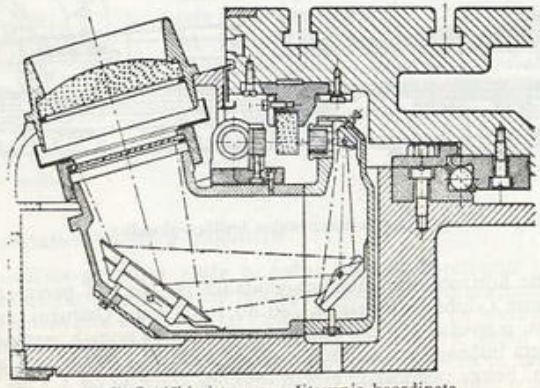
Normalne veličine horizontalnih bušilica-glodalica izvode se s promjerom bušnog vretena 63 do 180 mm i dubinom bušenja 280 do 1 400 mm. Uzdužni hodovi stola iznose 700 do 3 000 mm, poprečni 800 do 4 000 mm, a visinski pomak vreteništa 700 do 3 000 mm. Brojevi okreta bušnog vretena obično su od 11,2 do 2 000 o/min, a prihvatne ploče 3,5 do 180 o/min. Snaga pogonskog elektro-motora kreće se od 5,5 do 25 kW.



⑱ Koordinatna bušilica (stupna i portalna)

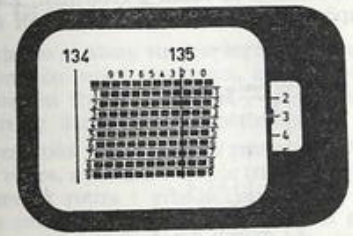
212.040.8 Koordinatne bušilice

Koordinatne bušilice služe za preciznu obradu bušenjem, unutarnjim tokarenjem itd. elemenata kod kojih se traže visoke točnosti dimenzija (razmaci osi, uske tolerancije), oblika (cilindričnost, okomitost itd.) i površina. ⑱ prikazuje dvije tipične izvedbe koordinatnih bušilica: stupnu i portalnu izvedbu. Izradak se postavlja na koordinatni stol opskrbljen uređajem za mjerenje pozicije. Vertikalno pozicioniranje izvodi vretenište, a pri portalnoj izvedbi i poprečno na horizontalnoj gredi. Izvedba stroja je posebno precizna i sve je

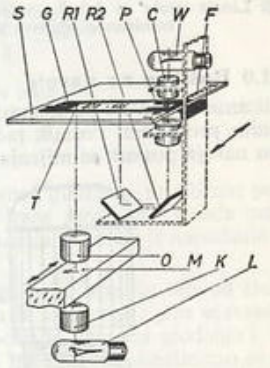


⑲ Optički sistem za očitavanje koordinata

dimenzionirano osobito kruto. Radno vreteno je kaljeno i uležišteno u valjne ležajeve već u zoni Morseova konusa. Vodilice stola često su izvedene s kuglicama ili valjčićima kao valjnim elementima u svrhu osposobljavanja preciznog pozicioniranja. Mjerni uređaj najčešće je optički, a sastoji se od vrlo preciznog mjernog lineala (optička rešetka) s milimetarskom skalom koja je urezana dijamantom, zatim od sistema zrcala, od optičkog sistema objektiva i kondenzora, ekrana za očitavanje i od dijela za osvjetljavanje ⑲ i ㉑. Mjerni lineal je staklen ili metalan. Stakleni mjerni lineal izrađen je od posebnog stakla s koeficijentom dilatacije jednakim lijevanom željezu. Podjela s mjernog lineala povećava se 60 puta i projicira na ekran ⑳, koji se sastoji od horizontalne i vertikalne podjele na 10 dijelova. Na gornjoj horizontalnoj podjeli očitavaju se desetinke, a položaj projekcije zareza skale u međuprostoru vertikalnih podjela određuje stotinke, dok se tisućinke milimetra određuju na bočnoj skali, koja određuje predbirani položaj pomaka ekrana. Na ⑳ prikazan je ekran na kom se upravo može očitati položaj 135,223 mm. ㉑ prikazuje optički sistem, gdje je sa strane na ekranu ugravirana podjela od ·000 do ·999, pa je pomoću predbiranja položaja optičkog sistema s mjernim okvirom moguće direktno očitavanje na ekranu veličine koordinate u brojča-



⑳ Ekran za očitavanje

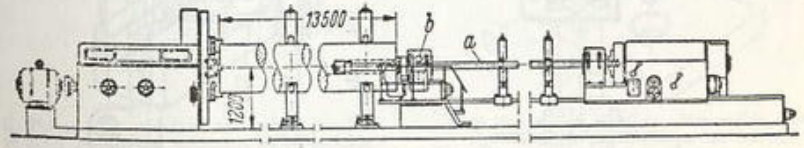


㉑ Sistem numeričkog očitavanja koordinata

nom iznosu. Koordinatne bušilice za najprecizniji rad treba da su u klimatiziranim prostorijama. Izrađuju se s veličinom stola od 240 × 360 do 1 000 × 1 750 mm. Brojevi okreta radnog vretena kreću se od 19 do 3 000 o/min, a posmici od 0,005 do 1,6 mm/okr. Snaga pogonskog elektro-motora iznosi od 0,4 do 5,5 kW.

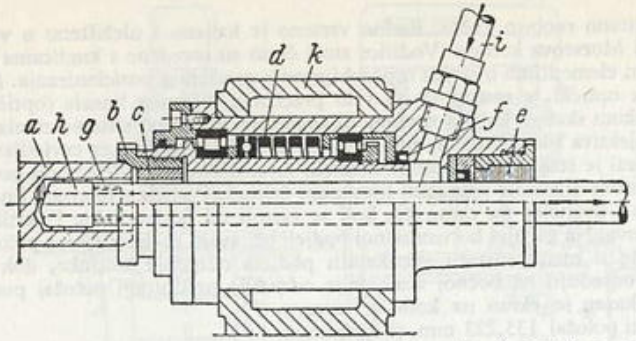
212.040.9 Bušilice za duboko bušenje

Bušilice za duboko bušenje služe za obradu dugačkih provrta u punom materijalu (šuplja vretena, topovske cijevi). Izradak je upet na radno vreteno vreteništa te izvodi radno kretanje ㉒. Bušenje se obavlja specijalnim samovodećim alatom na bušnoj motki. Alat



㉒ Stroj za duboko bušenje

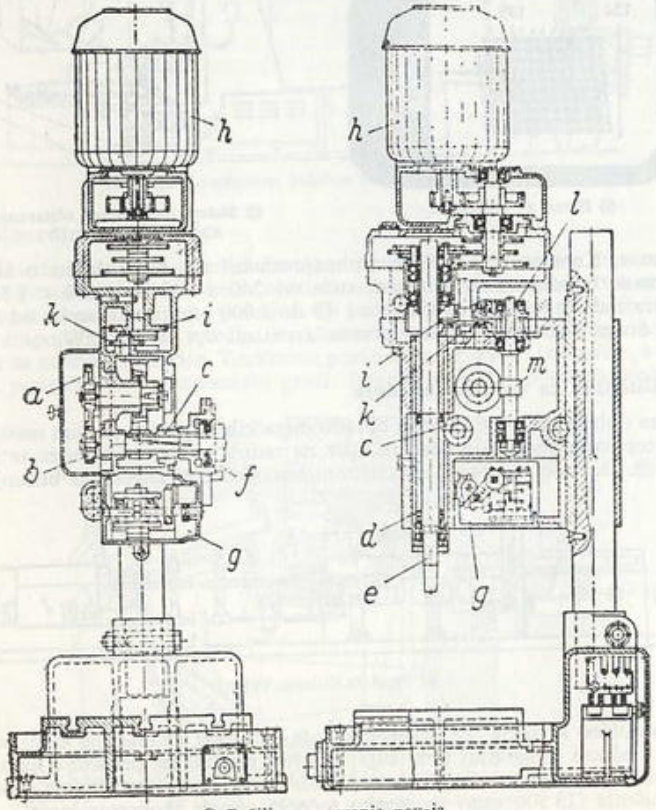
obavlja posmično kretanje. Za vrijeme obrade jaki mlaz rashladnog sredstva struji kroz bušotinu i odnosi strugotinu kroz šuplju bušnu motku. ㉓ prikazuje linetu za centriranje izratka s brtvama i dovodom rashladne tekućine. Ti se strojevi grade za velike dubine bušenja (13 500 mm) uz visoku točnost obrade (koncentričnost).



㉘ Lineta stroja za duboko bušenje (a — izradak, h — alat na dugačkoj motki g, i — dovod rashladnog sredstva koje kroz šuplji alat i motku odnosi strugotinu)

212.041.0 Bušilice za navoje

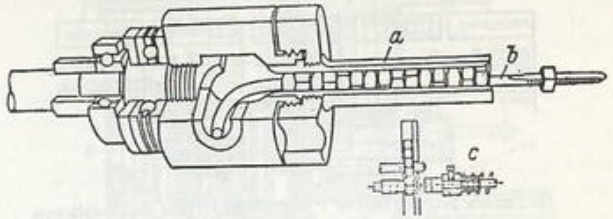
Bušilicama za navoje ㉙ urezuju se navoji strojnim nareznim svrdlima u prethodno izbušenim provrtima. Posmik radnog vretena kinematski je vezan s rotacijom. Za drugi uspon navoja posmik se mijenja izmjenom zupčanika na škarama. Jednostavniji strojevi



㉙ Bušilica za rezanje navoja

imaju osiguran posmik preko navojnih patrona, a kod vrlo jednostavnih ručnih bušilica za navoje posmik vodi samo narezno svrdlo. Iz izratka se narezno svrdlo vadi promjenom smjera rotacije radnog vretena s povišenim brojem okreta.

Matice se proizvode strojevima, pomoću specijalnih nareznih svrdala ㉕, u kontinuiranom procesu. Prethodno izbušenu maticu pridržava naprava tokom procesa rezanja navoja. Gotova matica izlazi sa stroja preko zavinutog dijela svrdla.

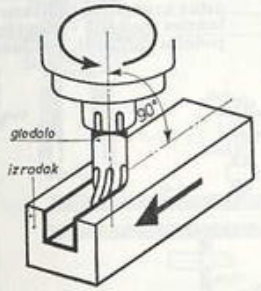


㉕ Glava stroja za urezivanje navoja u maticama

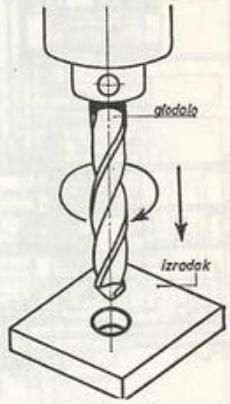
212.05 GLODALICE

Glodalice su alatni strojevi kojima se mogu obraditi ravne i poprečno profilirane površine, prizmatični utori, zupčanici, navoji i prostorno profilirane površine. Obrada materijala skidanjem izvodi se alatima — glodalima. Poslije tokarenja glodanje je najvažnija obrada i ona se danas najviše upotrebljava.

Kinematska slika gibanja zahvata alat-izradak pri glodanju, a može biti od slučaja da alat rotira, a izradak se kreće translatorno ① do slučaja da alat rotira i giba se translatorno i izradak rotira i giba se translatorno. Razlika u kinematici između glodanja i bušenja je u smjeru translacije — naime i pri glodanju i pri bušenju karakteristično je da alat rotira, ali pri glodanju se izradak giba translatorno u ravnini vertikalnoj na os rotacije alata (ili eventualno pod velikim kutom u radijalnom smjeru), dok je pri bušenju translatorno gibanje izratka ili alata uvijek u osi rotacije, aksijalno ②.



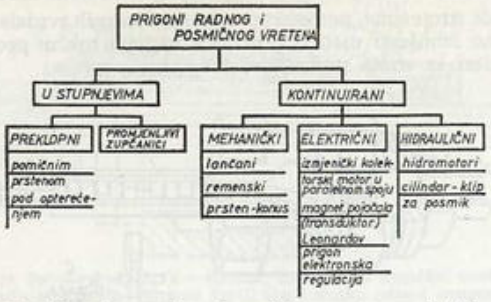
① Prikaz rada glodalice. Alat rotira, izradak se kreće pravocrtno normalno na os rotacije



② Prikaz rada bušilice. Alat rotira, izradak se kreće pravocrtno u osi rotacije

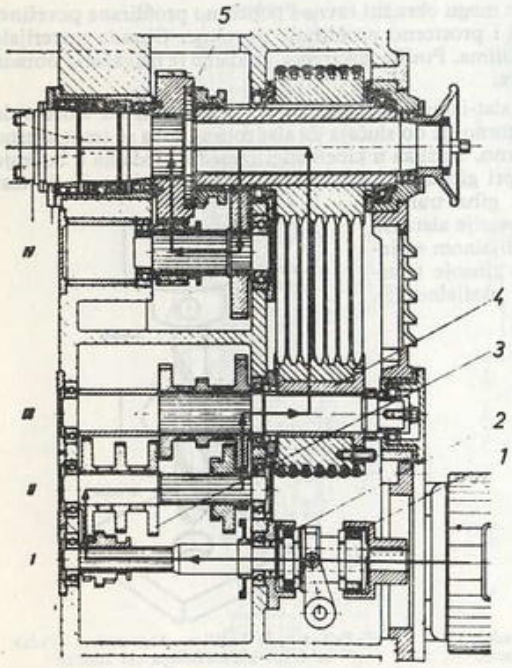
Podjela prigona radnog i posmičnog vretena ③. Glavni prigon vretena izveden je najčešće kao stepenasti zupčasti prigon s velikim brojem stupnjeva. Stupnjevanje je obično geometrijsko, a broj okreta kreće se od 5 do 2500 okretaja na minutu, ④a i ④b prikazuje prigon sa 15, odnosno 16 stupnjeva, uključivanje pomičnim zupčanicima i elektromagnetskim spojkama.

Kod brzohodnih glava, koje se isporučuju kao pribor, brojevi okreta su znatno viši i kreću se u području od 2 000 do 6 000 okreta u minuti.



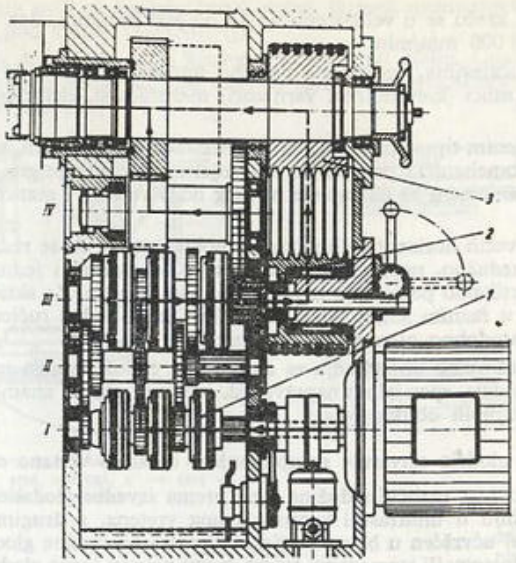
③ Podjela prigona radnog i posmičnog vretena na glodalicama

Prigon radnog stola (često se naziva i posmični prigon) neovisan je od radnog vretena i ima poseban motor. Vrlo rijetko se izvodi pomoću zglobnih prijenosa kao posmični izvod s pogonske osovine vreteništa.

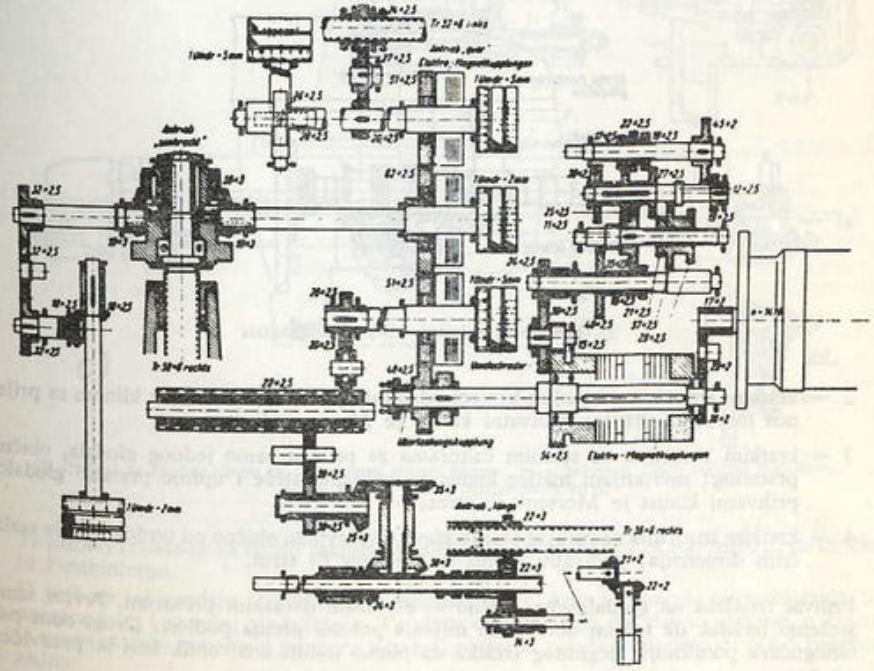


④a Tok sila u prigonu radnog vretena glodalice s ručnim uključivanjem brzine (1 — lamelna spojka, 2 — lamelna kočnica, 3 — pomični zupčanici, 4 — klinasta remenica)

Prigon radnog stola (posmični prigon) izveden je najčešće kao višeosovinski stepenasti zupčanički prijenos s geometrijskim stupnjevanjem. Obično je dodan i prigon za brzi (povratni) hod, koji može biti istog ili protivnog smjera od uključenog posmika radnog stola. U nekim izvedbama prigon za brzi hod ima vlastiti elektro-motor. ⑤ pokazuje shemu prigona konzole s radnim stolom u 18 stupnjeva.



④b Tok sila u prigonu radnog vretena glodalice s elektromagnetskim spojkama (1 — elektromagnetske lamelne spojke, 2 — spojke pomičnih zupčanika, 3 — klinasta remenica)



⑤ Prigon posmičnog gibanja konzolne glodalice u 18 stupnjeva

Brzine posmika kreću se u veličinama od 16 do 800 mm/min, dok brzine brzog hoda dostižu 2 000–8 000 mm/min.

U pojedinim slučajevima, već prema potrebi, upotrebljavaju se za posmični prigon i bestepeni prijenosnici (kontinuirani varijatori) mehaničkog, električnog ili hidrauličkog tipa.

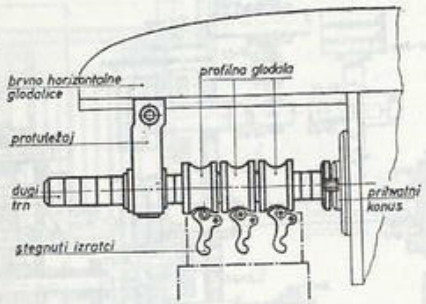
U nekim suvremenim tipovima glodalica, prvenstveno proizvodnim, vretenu radnog stola daje pogon hidromehanički prigon. Za istosmjerno glodanje prigon radnog stola mora se opremiti mehanizmom za uklanjanje mrtvog hoda vretena i matice (vidi istosmjerno glodanje).

Kod srednjih i većih horizontalnih glodalica uobičajeno je da se radni stol može mehanički pomicati uzdužno, poprečno i vertikalno. Kod manjih i jednostavnijih glodalica poprečno je i vertikalno pomicanje radnog stola samo ručno. Za aktiviranje mehaničkog pomicanja stola u raznim smjerovima često služi samo jedna ručica, kojom se katkad može ostvariti istodobno gibanje u dva smjera.

Primjenom programskog upravljanja za automatski ciklus obrade, upotrebom više glodala, profilnih glodala, specijalnih naprava itd. mogu se postići znatne vremenske uštede u izradi kompliciranih oblika.

Prihvat alata — glodala ostvaruje se upinjanjem u radno vreteno na slijedeće načine:

1 — dugim trnovima različitih dužina (već prema izvedbi glodalice), koji se jednim krajem upinju u unutrašnji konus glavnog vretena, a drugim krajem u ležište, u protuležaj učvršćen u brvnu horizontalne ili univerzalne glodalice ⑥ (prihvatni konus je Morseov ili strm; takvi trnovi mogu primiti i više glodala, a njihov međusobni položaj i razmak održavaju se odstojnim puškicama);



⑥ Dugi trn za upinjanje višeprofilnih glodala

2 — kratkim trnovima s manjim brojem odstojnih puškica, s uzdužnim klinom za prijenos momenta vrtnje; prihvatni konus je Morseov ili strm;

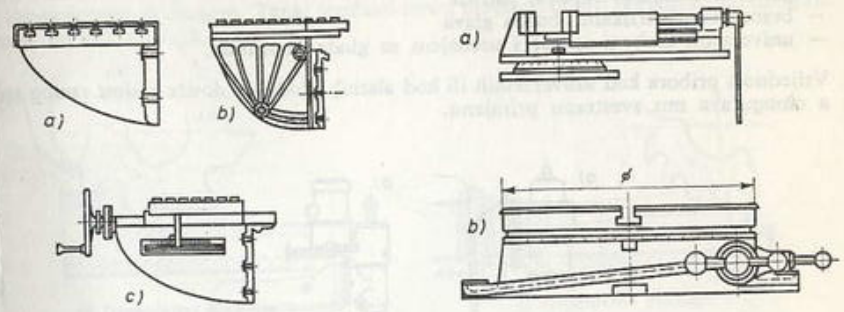
3 — kratkim trnovima sa steznim čahurama za prihvat samo jednog glodala, obično prstastog; zavrtanjem matice konus se radijalno steže i upinje prstasto glodalo; prihvatni konus je Morseov ili strm;

4 — kratkim trnovima za prihvat reznih glava s noževima, obično od tvrdog metala različitih dimenzija; prihvatni konus je Morseov ili strm.

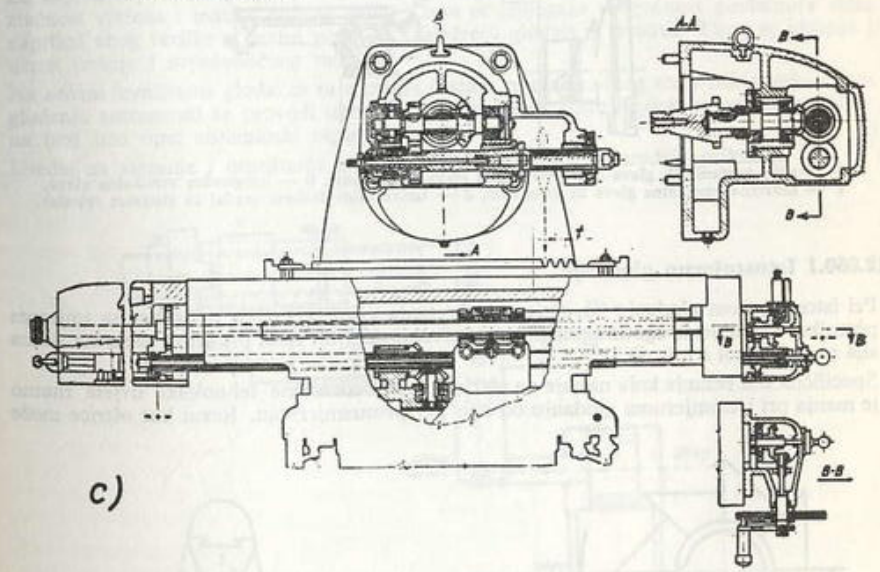
Prihvat izradaka na glodalicama obično se ostvaruje dvojakim priborom. Prvim samo stežemo izradak da tokom obrade ne mijenja položaj prema podlozi. Drugi nam pak omogućava pomicanje stegnutog izratka da bismo dobili onaj oblik koji je predviđen crtežom.

U prvu skupinu tih pribora spadaju čvrsti strojni škripci, stezne specijalne naprave i stolovi za glodanje pod kutom (nagibni) ⑦.

U drugu skupinu dolazi pribor za kružnu i za uzdužnu diobu. Onaj prvi čine diobene glave i stolovi, a ovaj drugi nagibni stolovi, zakretni strojni škripci, pribor za izradu nazubljenih letvi itd. ⑧a, b i c.



⑦ Razne vrste stolova za glodanje (a — kruti stol, b — nagibni stol, okretni, c — stol s poprečnim suportom)



⑧ Pribori za kružnu diobu (a — zakretni strojni škripac, b — zakretni stol s ručnim pogonom, c — stol za izradu nazubljenih letvi)

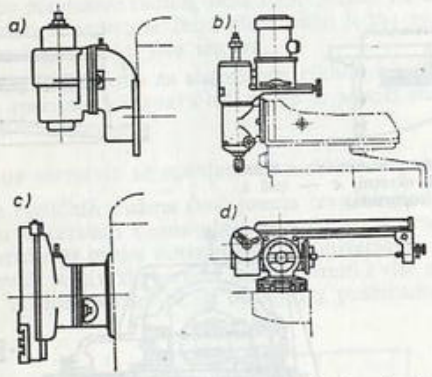
Ti pribori izvode se za ručno zakretanje, ali, kad je potrebno, i za mehaničko, električko ili kombinirano.

U pribore još spadaju i priključne vretenišne glave, koje se mnogo upotrebljavaju na univerzalnim i alatnim glodalicama. Te glave omogućavaju da glavno vreteno, u kojem je upeto glodalo, zauzme u prostoru bilo koji potreban položaj, odnosno da obavi posebne radnje.

Najuobičajenije izvedbe vretenišnih glava jesu ⑨:

- vertikalna vretenišna glava
- univerzalna vretenišna glava
- brzohodna vertikalna glava
- glava za dubljenje
- glava za blanjanje čepova, patrica
- brzookretna vertikalna bušna glava
- univerzalni diobeni aparat s uređajem za glodanje spirala.

Vrijednost pribora kod univerzalnih ili kod alatnih glodalica dosiže visinu samog stroja, a omogućava mu svestranu primjenu.

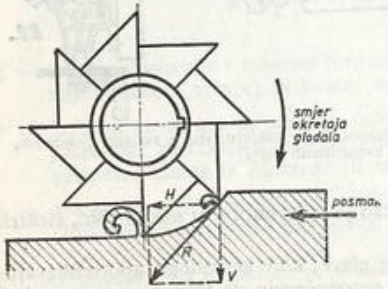


⑨ Izvedbe vretenišnih glava (a — vertikalna glava za glodanje, b — brzohodna vertikalna glava, c — zakretna vertikalna glava za dubljenje, d — univerzalni diobeni uredaj za glodanje spirala)

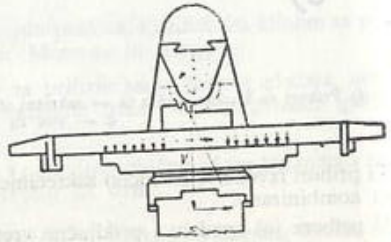
212.050.1 Istosmjerno glodanje

Pri istosmjernom glodanju ⑩, smjer se okretanja vretena glodala podudara sa smjerom posmika. Skidanje strugotine počinje pri najvećoj debljini reza, pri čemu se stvara tlačna sila na radni stol stroja ⑪.

Specifična sila rezanja koja nastaje na oštrici alata uz identične tehnološke uvjete znatno je manja pri istosmjernom glodanju od one pri protusmjernom. Rezni kut oštrice može



⑩ Shema istosmjernog glodanja (R — rezultanta sila rezanja, V — vertikalna komponenta, H — horizontalna komponenta

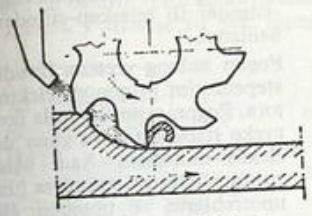


⑪ Istosmjerno glodanje

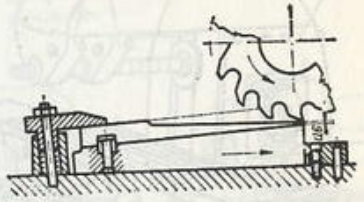
se prikladnije oblikovati. To pak može i za 50–60% produžiti vrijeme trajanja oštrice, a uz istu snagu omogućava postizavanje za 20 do 30% većih presjeka strugotine.

Pogon stroja (skidanje strugotine, posmik) jednoličniji je, a hlađenje glodala i radnog mjesta bolje je i intenzivnije ⑫. To pridonosi da se poboljša finoća površine izratka.

Oblici izratka koji se protusmjernim glodanjem ne mogu uspješno obraditi lako su obradivi istosmjernim glodanjem. Tanki jezičasti izraci mogu se dobro obrađivati do debljine stijenke od 0,5 mm ⑬.



⑫ Istosmjerno glodanje

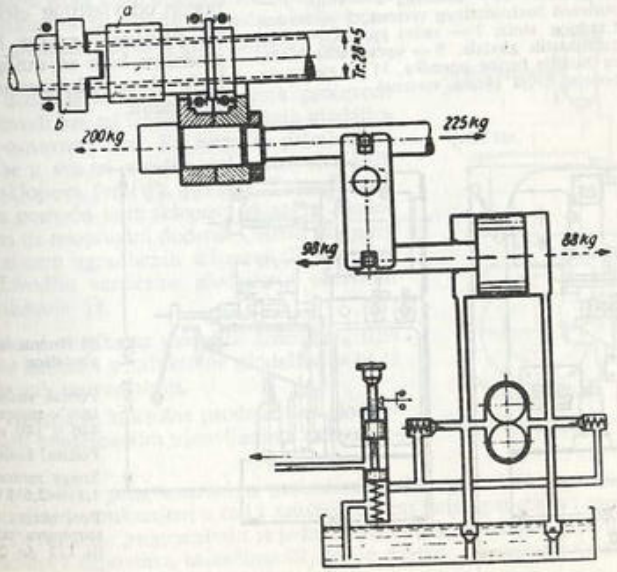


⑬ Istosmjerno glodanje

Za uspješno provođenje procesa istosmjernog glodanja potrebno je na stroju smanjiti zračnost vretena i matice radnog stola. Time se izbjegava mogućnost povlačenja stola naprijed zbog razlike u brzini posmika i ulaženja glodala u izradak. Time se uklanja i uzrok trešnje i nejednoličnog rada.

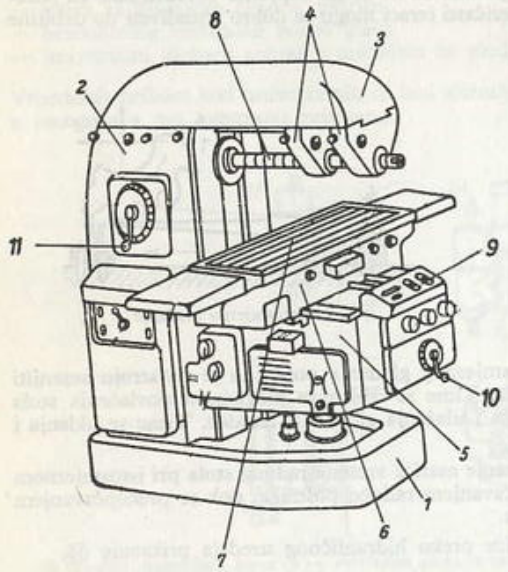
Na novim izvedbama glodalica to stezanje matice vretena radnog stola pri istosmjernom glodanju automatski se provodi ukopčavanjem radnog posmika, dok se prekopčavanjem na brzi hod opet automatski otpušta.

Uređaj za stezanje i otpuštanje matice preko hidrauličnog uređaja prikazuje ⑭.



⑭ Hidraulični uredaj za stezanje matice pri istosmjernom glodanju

212.050.2 Horizontalne glodalice katkad se nazivaju i jednostavne ili konzolne zbog načina na koji se stol upinje prema postolju. Izvedene su s jednostavnim prigonom jer je i okretanje radnog vretena i zauzimanje posmika izvedeno stepenastim prigonom. Radno vreteno horizontalne glodalice smješteno je horizontalno u sandučastom postolju ⑮. Uobičajena je izvedba da se konzola pomiče pomoću mehaničkog (vreteno-matica) ili pomoću hidrauličkog (klip-cilindar ili teleskop-cilindar) mehanizma.



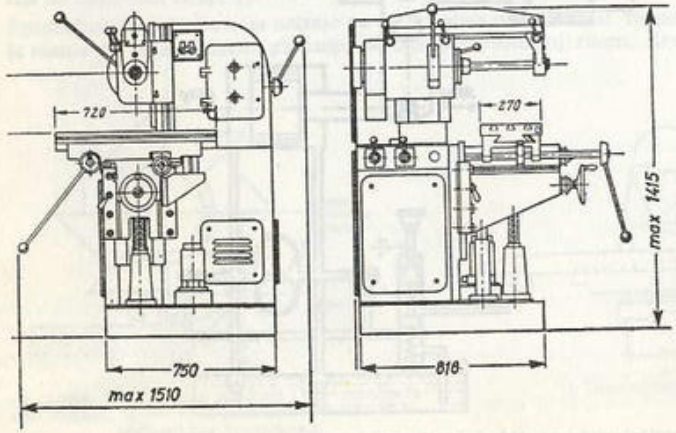
⑮ Horizontalna glodalica (1 — postolje, 2 — stup, 3 — brvno, 4 — protuležaji horizontalnog vretena, 5 — konzola, 6 — nosač radnog stola, 7 — radni stol, 8 — dugi trn za upinjanje valjkastih glodala, 9 — upravljačka ploča, 10 — ručica za biranje brzine posmika, 11 — ručica za biranje broja okreta vretena)

Pogon radnog vretena izvodi se sa stepenastim prigonom elektro-motora. Pogon posmika stola izvodi se preko stepenastog prigona drugim elektro-motorom. Radi uštede u zupčaničkom prijenosu za brzi hod upotrebljava se poseban elektro-motor.

Hod stola kod horizontalne glodalice moguć je u sve tri koordinate; uzdužno, poprečno i po visini. Mehanički posmik najčešći je samo u uzdužnom hodu, a veličina hoda ograničava se pomičnim graničnicima.

Uljna pumpa za podmazivanje zupčanika i ležaja vezana je uz prigon, dok pumpa za rashladno sredstvo (emulzija, rezno ulje i sl.) dobiva pogon od vlastitog elektro-motora.

⑯ prikazuje ručnu horizontalnu glodalicu koja se mnogo upotrebljava zbog jednostavnosti pri posluživanju.



⑯ Ručna horizontalna glodalica

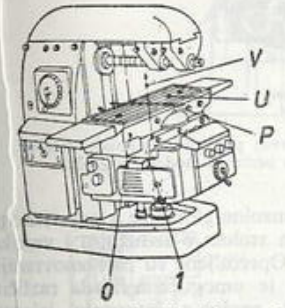
Pomak stola ručno uzdužno × poprečno
440 × 140 mm

Podizaj konzole 300 mm

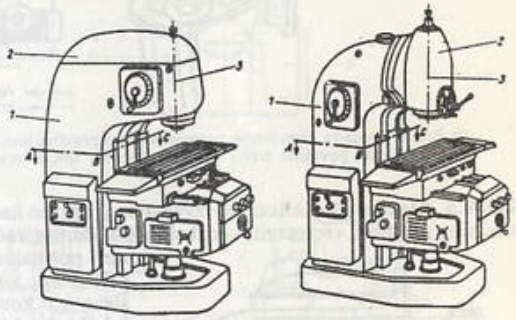
Snaga motora
1,1 — 2,6 kW

Broj okreta vretena u 12 stupnjeva od 56 do 1120 ili 112 do 2240 o/min

212.050.3 Univerzalne glodalice izvedene su u biti slično kao i horizontalne, samo što se radni stol na konzoli može uz uzdužno i poprečno pomicanje zakretati i oko vertikalne osi ⑰. To se ostvaruje ugradnjom jednog kružnog utora za vođenje. Da bi se postigla univerzalnost, takva se glodalica oprema brojnim priborima, od kojih navodimo diobenu glavu i diobeni stol, vertikalnu, univerzalnu i brzohodnu priključnu glavu, glavu za dubljenje itd. Priključne vretenišne glave koje se pričvršćuju uz vreteniste omogućavaju da glavno vreteno u kojem se nalazi alat-glodalo može zauzeti bilo koji radni položaj u prostoru. To svojstvo je osobito važno kod glodalica tako da su izvedene već i GLODALICE S UNIVERZALNOM GLAVOM. To su po izvedbi konzolne glodalice kod kojih je glava (u osnovi vertikalna) izvedena tako da glodalo možemo postaviti u položaj koji god želimo. Poznatije su pod imenom alatne glodalice.



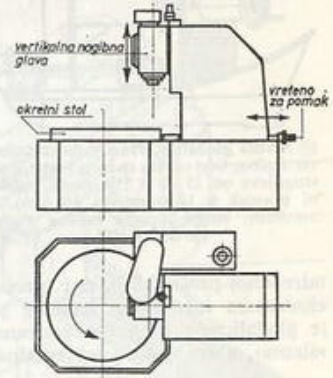
⑰ Univerzalna glodalica (U — uzdužan hod, P — poprečan hod, V — vertikalan hod, O — okretni dio, obostrano do 45°)



⑱ Vertikalna glodalica

212.050.4 Vertikalne glodalice ⑱ izvedene su tako da im os glodala leži vertikalno, dok je izvedba stola i dio postolja kao kod horizontalne glodalice. Ta vrsta glodalica posebno je prikladna za obradu pomoću visoko produktivnih glodaćih glava s izmjenljivim noževima.

Danas je uobičajeno da tvornica koja proizvodi glodalice izvodi sve tri izvedbe konzolnih glodalica iz jednog osnovnog tipa. Pri tome se primjenjuje načelo da se u sve tri izvedbe nalazi što više istih dijelova i sklopova (vidi ⑮, ⑰ i ⑱). Takav sistem u kojem se pomoću istih sklopova sklapaju raznovrsni tipovi uz neophodni dodatak i novih sklopova nazivamo sistem ugradbenih sklopova (Baukasten-system). Izvedbu vertikalne glodalice s okretnim stolom prikazuje ⑲.



⑲ Vertikalna glodalica s okretnim stolom

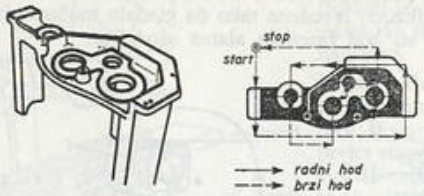
Horizontalne i vertikalne glodalice konzolnog tipa nazivaju se katkad i produktivne glodalice da bi se razlikovale od univerzalnih.

U novije vrijeme se konzolne produktivne glodalice opremaju programskim upravljanjem radnog ciklusa.

Najčešće se radi o programiranom prebacivanju brzog hoda i posmika radnog stola u sve tri koordinate, puštanjem u rad i zaustavljanjem radnog vretena i pumpe za rashladno sredstvo. Te funkcije programiraju se jednostavnim programskim upravljanjem, pozicijski s graničnicima i čepovima, utikačima ili, što je rijetko, repeticijski (vidi dio o automatizaciji).

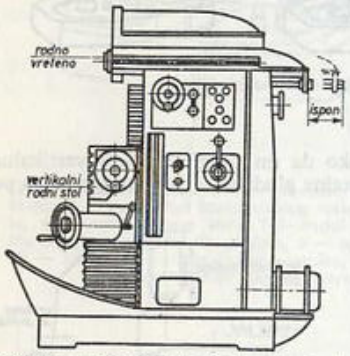
Takav način programskog upravljanja omogućava u automatskom ciklusu rada glodanje radnih površina (i stepenica) mijenjanjem smjera gibanja samo pod pravim kutom (po pojedinim koordinatama). Pri takvom radu i programiranju tokom rada obično ne dolazi do promjene u režimu rada ili alata ⑳.

Posebno su te glodalice izvedene za upravljanje numeričkim putem jer je to u uobičajenoj izvedbi zbog neprikladnosti konstrukcije nemoguće. U tom slučaju (numeričkog upravljanja) mora se izvesti konstruktivno glodalica za takvo upravljanje jer nije moguće samo pridodati upravljanje na postojeću izvedbu, kao pri jednostavnom.



⑳ Prikaz komada obrađenog programskim upravljanjem. Lijevo: pogled na komad; deblje obrubljene površine treba obraditi. Desno: tlocrt izratka s ucrtanim hodovima glodala

212.050.5 Alatne glodalice ㉑ izvedene su obično kao konzolne glodalice s poprijeko pomičnim glavnim vretenom, vertikalno položenim radnim stolom s uzdužnim i vertikalnim posmakom. Opremljene su najraznovrsnijim priborom, kojim je omogućena izrada različitih alata za kovanje, prešanje, štancanje, isjecanje itd. Uz uobičajene pribore za konzolne glodalice u alatnim glodalicama posebno još susrećemo razne vrste radnih stolova, nagibnih i krutih, te pribor za blanjanje žigova (čepova, patrica) za štancanje. Na postojeću alatnu glodalicu katkad se stavljaju i kopirni uređaji, osobito pri izradi alata za kovanje, tlačno lijevanje — kokile.



㉑ Alatna glodalica. Hod stola uzdužno i vertikalno, broj okreta radnog vretena u 36 stupnjeva od 35 do 1 550 o/min, uzdužni posmak u 18 stupnjeva od 6 do 270 mm/min, snaga motora radnog vretena 1,6 do 2,6 kW

Dužine hodova radnog stola kod alatne glodalice manje su nego kod konzolne, ali se zato traži veća točnost pozicioniranja i pri ostvarivanju hoda oštrice alata po izratku. Zbog toga su opskrbljene i posebnim preciznim mjernim uređajima i centrirnim mikroskopom kao priborom. Tako izvedene i skupe alatne glodalice nisu namijenjene serijskoj proizvodnji običnih izradaka, već dijelova alata.

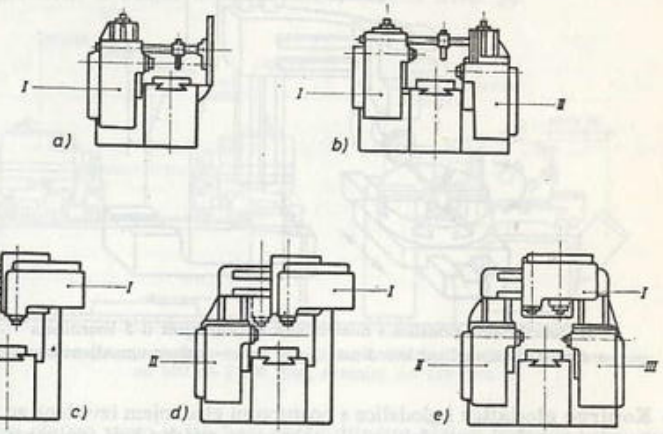
Mogu se programirati jednostavno i numerički, pogotovo ako su namijenjene unaprijed određenoj proizvodnji, npr. proizvodnji krivulja za vođenje na mehaničkim automatima, ekscentara itd. Zbog laganog podešavanja raznih vrsta stolova i ostalog pribora tim je glodalicama moguća svestrana primjena. Zato se danas već sve rjeđe čuje termin »alatna«, a sve češće »univerzalna konzolna glodalica«. Strogo uzevši, ona to i jest.

212.050.6 Planske glodalice izvedene su tako da kod njih radni stol leži neposredno na krevetu postolja i može se pomicati samo uzdužno, a katkad i poprečno. Visina vretena glodalice iznad stola podešava se pomicanjem vreteništa u vertikalnom smjeru. Budući da takva konstruktivna izvedba, gdje su postolje, brvno i škare međusobno povezani i pritegnuti vijcima, daje krutu figuru, moguća je veća proizvodnost takvih glodalica. Najčešće se upotrebljava pri glodanju ravnih horizontalnih ili vertikalnih ploha i utora (prizmatičnih oblika), pa im odatle potječe i osnova za ime.

Dosta rijetko nalaze se i izvedbe s programskim upravljanjem, pa ako i postoje, onda je to pretežno pozicijsko upravljanje s graničnicima za uzdužni i poprečni hod, dok se programatorom određuju i ostale pomoćne funkcije.

Izbor pribora kod planskih glodalica relativno je malen i uglavnom se odnosi na stezne naprave. Programirane i opskrbljene specijalnim steznim napravama, planske glodalice pojavljuju se u velikoserijskim proizvodnjama kao automatizirane glodalice za izradu žljebova i utora na osovinama.

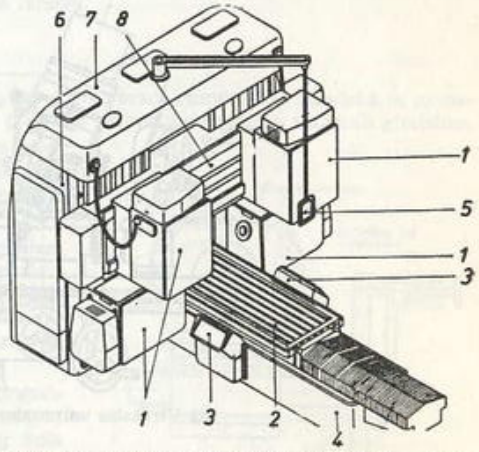
㉒ prikazuje mogućnosti sastavljanja planskih horizontalnih i vertikalnih glodalica po sistemu ugradbenih sklopova (Baukastensystem).



㉒ Sastavljanje horizontalnih i vertikalnih planskih glodalica (a — jednovretena, b — dvovretena horizontalna glodalica dupleks, c — jednovretena vertikalna, d — dvovretena horizontalna-vertikalna, e — trovretena)

212.050.7 Uzdužne glodalice, nazivane često i portalne, odnosno poluportalne, izvedene su tako da im je radni stol pomičan samo u uzdužnom smjeru, a rjeđe i u poprečnom. Ponekad nailazimo na izvedbe kod kojih je stol potpuno nepokretan. Radni stol kod uzdužne glodalice leži na dugačkim vodilicama na krevetu. Jedno ili više radnih vretena s vlastitim elektromotornim pogonom uležišteno je u vertikalnom nepomičnom stupu — to je poluportalna glodalica. Ako je glodalica izvedena na dva stupa, koji su međusobno povezani poprečnim brvnom, onda je to portalna glodalica. ㉓ prikazuje portalnu uzdužnu glodalicu sa četiri vretena za glodanje — dva vertikalna i dva horizontalna.

Radna vretena nalaze se u posebnim kućištima i obično su nagibiva tako da je omogućeno glodanje

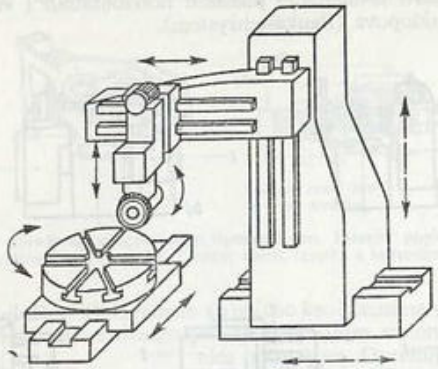


㉓ Portalna glodalica sa četiri radna vretena (1 — radna vreteništa, 2 — radni stol, 3 — upravljačka ploča, 4 — podnožje stola, krevet, 5 — upravljačka »pecaljka«, 6 — stupovi, 7 — poprečno brvno ukrućenja, 8 — poprečno brvno — nosač radnih vreteništa)

kosih ravnih površina na prizmatičnim izracima. Posmik radnog stola može se bestepeno podešavati, dok je izbor broja okreta radnih vretena najčešće stupnjevan.

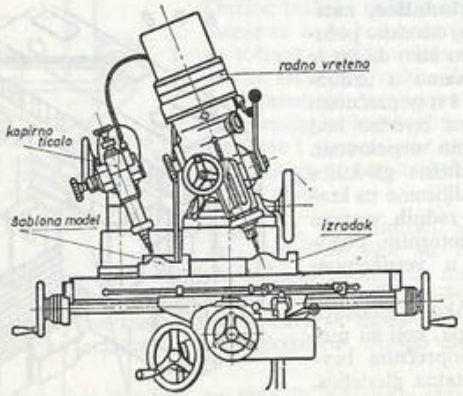
Uzdužne glodalice najveće su glodalice po izvedbi, visokoproizvodne su (stol leži bez trešnje na dugim vodilicama) i primjenljive za mnoge svrhe (nagibne glave).

㉔ prikazuje jednu izvedbu poluportalne glodalice, numerički upravljane na pet koordinata, s mogućnošću pomicanja u sedam koordinata.



㉔ Poluportalna glodalica s numeričkim upravljanjem u 5 koordinata
——→ numerički upravljane koordinate — – – → rukom upravljane koordinate

212.050.8 Kopirne glodalice i glodalice s postupnim glodanjem izvedene su tako da radno vreteno izvodi kretanje prema šabloni ili pokusnom uzorku koji »opipava« ticalo uređaja za kopiranje. Upravljanje hodom ticala programirano je u uzdužnom i vertikalnom smjeru, dok je poprečni hod ovisan o visini koju ticalo »opipa« na modelu za dotično mjesto.



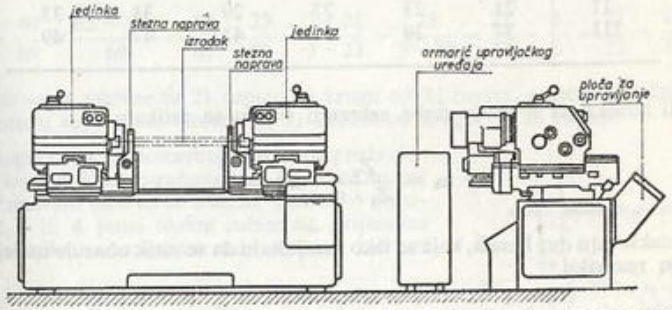
㉕ Vertikalna univerzalna kopirna glodalica

Ako su predviđene za izradu manjih izradaka, kopirne glodalice se izvode kao vertikalne ㉕. Za izradu oblika većih dimenzija izvode se kao poluportalne s horizontalnim vreteništem, a vertikalno smještenom površinom radnog stola.

Upravljanje poprečnim hodom ticala i prijenos na vreteno glodala obično su električki ili hidraulični, rjeđe kombinirani ili mehanički (kod jednostavnih i malih kopirnih glodalica).

212.050.9 Stroj za ravnanje čela i zabušivanje središnjih uvrta u strogom smislu i nije glodalica, već kombinirani alatni stroj podešen za jednu svrhu. Služi za izvođenje istog radnog procesa na istovrsnim izracima u velikim količinama (npr. vretena u industriji elektro-motora, automobilskih motora i slično).

Izvedba stroja omogućava podešavanje dužine izradaka čija se čela obrađuju — ravnaju glodačkim glavama, a nakon toga se buše centrični uvrti ㉖.



㉖ Stroj za dvostrano ravnanje čela i zabušivanje. Dužine izratka u četiri stupnja od 800 do 2 000 mm, promjer do 120 mm

Strojevi imaju obično samo jedan broj okreta i jednu brzinu posmika, a po potrebi oni se mogu i mijenjati pomoću izmjenljivih zupčanika i tako mogu u raznim slučajevima osigurati visoku proizvodnost.

Radom takvog stroja obično se upravlja automatski, što omogućava istodobni rad s više alata te brzo stezanje i otpuštanje izratka.

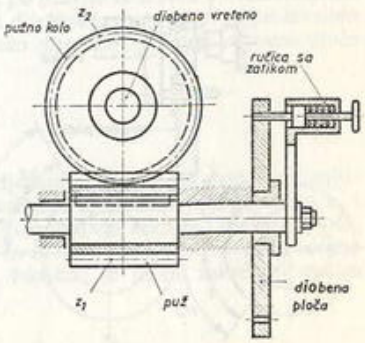
212.051.0 Uređaji za dijeljenje

Uređaji za dijeljenje služe pri mjerenju, kao i pri obradi raznovrsnih izradaka te za namještanje određenih kutova pa su stoga popratni pribor univerzalnih i alatnih glodalica.

Ti uređaji izvedeni su kao diobene glave (diobeni aparati) i diobeni stolovi. Prema mjernom principu izvode se kao mehanički ili optički diobeni uređaji.

Najjednostavnije dijeljenje izvodi se uređajem na čijem je vretenu učvršćena diobena ploča s potrebnim brojem rupica za zadano dijeljenje. Fiksiranje se nakon svakog zakreta obavlja zatikom s tijela uređaja. To dijeljenje naziva se neposredno dijeljenje.

Da bi se postigla veća točnost i šire mogućnosti, diobene glave se izvode sa zakretanjem diobenog vretena preko puža i pužnog kola ㉗. Posredno dijeljenje postiže se pri tome zakretanjem ručice sa zatikom, dok je diobena ploča fiksna. Diobene glave izvode se s jednovojnim pužem $z_1 = 1$, a pužno kolo ima



㉗ Posredno dijeljenje

normalno $z_2 = 40$, 60 ili 80 zubi. Diobene ploče mogu se mijenjati, a diobena glava obično je opskrbljena sa tri diobene ploče, od kojih svaka ima šest krugova diobenih rupica.

Broj rupica diobene ploče Tablica 1.

Diobena ploča	Broj rupica u krugu					
I	15	16	17	18	19	20
II	21	23	27	29	31	33
III	37	39	41	43	47	49

Pri podjeli izratka na n dioba treba zakreniti ručicu sa zatikom za

$$n_k = \frac{Z_2}{Z_1 \cdot n} \text{ okreta.}$$

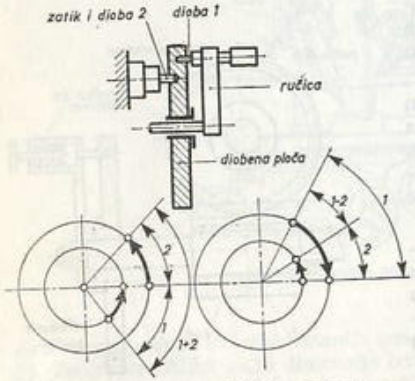
Rad nam olakšavaju dva kazala, koja se tako namještaju da se zatik ubacuje uvijek u rupicu na njihovu razmaku.

Primjer. Treba obraditi izradak sa $n = 76$ utora po obodu uz upotrebu diobene glave sa $z_2/z_1 = 40$. Pri tome treba zakrenuti ručicu za

$$n_k = \frac{Z_2}{Z_1 \cdot n} = \frac{40}{76} = \frac{4 \cdot 10}{4 \cdot 19} = \frac{10}{19} \text{ okreta,}$$

tj. da bismo postigli jednu diobu izratka, ručicu zakrećemo za kut od 10 rupica na diobenoj ploči s krugom od 19 rupica.

Primjer. Na izratku treba obraditi dva utora koji međusobno zatvaraju kut od $\alpha = 31°17'$ uz upotrebu diobene glave sa $z_2/z_1 = 40$. Pri tome jedan puni okret ručice iznosi $360°/40 = 9° = 32\,400''$, dok je $\alpha = 31°17' = 112\,620''$, pa je:



㉘ Adicijsko i suptrakcijsko dijeljenje

$$\frac{112\,620}{32\,400} = 3{,}475\,9 = 3 + 0{,}475\,9 \approx 3 + \frac{10}{21}$$

jer je $\frac{10}{21} = 0{,}476\,19$. To znači da se ručica za zakret od $\alpha = 31°17'$ diobenog vretena treba da zakrene za tri puna okreta i 10 rupica na krugu od 21 rupice.

Za proširenje mogućnosti dijeljenja služe ploče s diobenim rupicama s obje strane diobene ploče, a ploča se fiksira za tijelo diobene glave sa zatikom 2 ㉘. Dioba se pri tome izvodi zakretom ručice u jednom smjeru za određeni kut i daljnjim zakretom ručice i diobene ploče za određeni daljni kut u istom smjeru (postupak adicije) ili u suprotnom smjeru (postupak suptrakcije).

Primjer. Treba podijeliti izradak na $n = 57$ podjela uz upotrebu diobene glave sa $z_2/z_1 = 40$. Pri tome je zakretanje ručice za postizanje jedne podjele:

$$n_k = \frac{40}{1 \cdot 57} = \frac{40}{57} = \frac{19}{57} + \frac{21}{57} = \frac{19}{3 \cdot 19} + \frac{3 \cdot 7}{3 \cdot 19} = \frac{1}{3} + \frac{7}{19} = \frac{9}{27} + \frac{7}{19},$$

tj. ručica se sama zakrene za devet rupica na krugu od 27 rupica, pa zatim ručica s diobenom pločom u istom smjeru za 7 rupica na krugu od 19 rupica.

Primjer. Treba podijeliti izradak na $n = 69$ podjela uz upotrebu diobene glave sa $z_2/z_1 = 40$. Potrebno zakretanje ručice je:

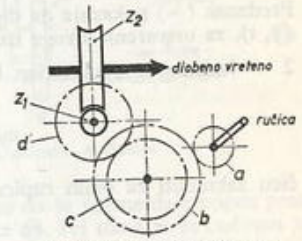
$$n_k = \frac{40}{69} = \frac{63 - 23}{69} = \frac{63}{69} - \frac{23}{69} = \frac{3 \cdot 21}{3 \cdot 23} - \frac{23}{3 \cdot 23} = \frac{21}{23} - \frac{1}{3} = \frac{21}{23} - \frac{11}{33}$$

tj. ručica se sama zakrene za 21 rupicu na krugu od 23 rupice, a zatim zajedno s diobenom pločom u suprotnom smjeru za 11 rupica na krugu od 33 rupice.

Daljnje mogućnosti jednostavnog dijeljenja pruža postupak s izmjenljivim zupčanicima ㉙. Ovi se pri tome izračunavaju tako da se tražena podjela n postiže sa 1, 2, 3 ili 4 puna okreta ručice n_k. Prijenosni omjer zupčanika s brojevima zubi a, b, c i d pri tome je:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{z_2}{z_1 \cdot n \cdot n_k}$$

Izmjenljivi zupčanici uz diobenu glavu redovito su sa 24, 24, 28, 28, 32, 40, 44, 48, 56, 64, 72, 86 i 100 zubi.



㉙ Dijeljenje s izmjenljivim zupčanicima

Primjer. Treba podijeliti izradak na 55 dioba uz pomoć diobene glave sa $z_2/z_1 = 60$. Prijenosni odnos, odnosno brojevi zuba izmjenljivih zupčanika uz $n_k = 2$ okreta ručice za postizanje jedne diobe na izratku jesu:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{60}{1 \cdot 55 \cdot 2} = \frac{6}{11} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 6}{2 \cdot 4 \cdot 11} = \frac{1 \cdot 48}{2 \cdot 44} = \frac{28 \cdot 48}{56 \cdot 44}.$$

Dijeljenje izradaka bilo na koju podjelu moguće je izvesti univerzalnom diobenom glavom s tzv. diferencijalnim dijeljenjem. To dijeljenje po pravilu se izvodi s horizontalnim položajem diobenog vretena. Za podjelu izratka na n dijelova izabere se prvo proizvoljan broj dioba n_g, koji se može lako podijeliti indirektnom metodom pomoću diobene ploče pa je za to potreban zakret ručice:

$$n_k' = \frac{z_2}{z_1 \cdot n_g}.$$

Međutim, budući da je diobeno vreteno povezano s diobenom pločom ㉚ preko izmjenljivih zupčanika a, b, c, d i eventualnim međuzupčanikom te stožnim zupčanicima z_5 i z_6, čiji je prijenos 1 : 1, to se zbog zakretanja diobenog vretena zakreće i diobena ploča, koja sada prethodi ili zaostaje za okretanjem ručice za n_k'' okreta. Da bi se zatik mogao utaknuti u predviđenu rupicu (izračunatu za n_g), faktično se mora zakrenuti ručica za veličinu $n_k' + n_k''$ pa je:

$$n_k = n_k' + n_k'' = \frac{z_2}{z_1 \cdot n_g} + \frac{a \cdot c}{b \cdot d} \cdot \frac{1}{n} = \frac{z_2}{z_1 \cdot n}$$

Odavde je potreban prijenos za diferencijalni pomak diobene ploče:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{z_2}{z_1 \cdot n_g} \cdot (n_g - n).$$

Primjer. Treba podijeliti izradak na n = 127 dijelova s diobenom glavom $z_2/z_1 = 60$.

1 — Izabran je proizvoljan broj dioba $n_g = 120$.

Tada je:

$$n_k' = \frac{60}{1 \cdot 120} = \frac{1}{2} = \frac{9}{18}$$ to jest, da bi se proizvela jedna

dioba, treba zakrenuti ručicu za devet rupica na krugu od 18 rupica. Potreban prijenos za korekciju pomaka ručice je:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{60}{1 \cdot 120}(120 - 127) = -\frac{7}{2} = \frac{70 \cdot 60}{40 \cdot 30}$$ + međuzupčanik.

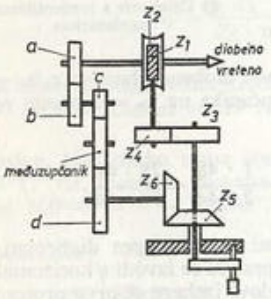
Predznak (—) pokazuje da diobena ploča treba da se kreće u suprotnom smjeru ručice ㉛, tj. za ostvarenje ovoga treba da u slog stavimo i jedan međuzupčanik.

2 — Izabran je proizvoljan broj dioba $n_g = 135$. Tada je:

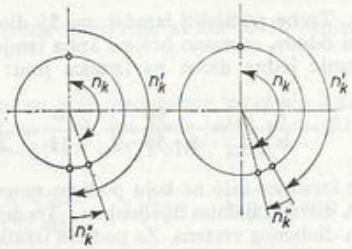
$$n_k' = \frac{60}{1 \cdot 135} = \frac{4}{9} = \frac{8}{18}$$ tj. za jednu diobu treba ru-

čicu zakrenuti za osam rupica na krugu od 18 rupica. Potreban prijenos je:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{60}{1 \cdot 135}(135 - 127) = +\frac{32}{9} = \frac{80 \cdot 100}{25 \cdot 90}$$



㉚ Diferencijalno dijeljenje



㉛ Diferencijalno kretanje diobene ploče

U tom slučaju ručica i diobena ploča okreću se u istom smjeru i nije potreban međuzupčanik ㉛.

Na univerzalnim glodalicama se pomoću diobene glave mogu obrađivati zavojnice na izracima tako da se ručica diobene glave preko izmjenljivih zupčanika a, b, c i d kinematski poveže s vretenom stola glodalice ㉜. Pri tome potreban prijenos za obradu zavojnice uspona h na izratku, a s glodalicom koja ima korak vretena stola s, iznosi:

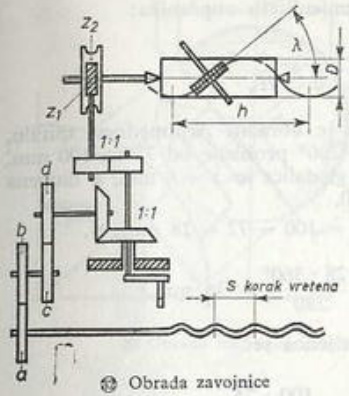
$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{z_2 \cdot s}{z_1 \cdot h}$$

izradak se zakreće automatskim pogonom od posmika.

Primjer. Na izratku promjera D = 50 mm treba obraditi zavojnicu uspona h = 176 mm s horizontalnom univerzalnom glodalicom, koja ima uspon nareza vretena $s = 5$ mm i diobenom glavom $z_2/z_1 = 40$. Potreban prijenos ㉜ tada je:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{40 \cdot 5}{1 \cdot 176} = \frac{200}{176} = \frac{100 \cdot 2}{44 \cdot 4} = \frac{100 \cdot 32}{44 \cdot 64}$$

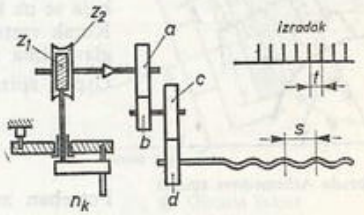
Za glodanje s pločastim glodalom treba zakrenuti stol za kut



㉜ Obrada zavojnice

$$\operatorname{tg}\lambda = \frac{D \cdot \pi}{h} = \frac{50 \cdot \pi}{176} = 0{,}892\,5,$$ tj. $\lambda = 41°45'$.

Pri glodanju s prstastim glodalom nije potrebno zakretanje stola.



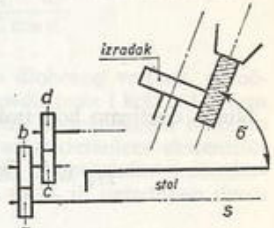
㉝ Dužinsko dijeljenje

Diobena glava može služiti i za dužinsko dijeljenje tako da se njome daje pogon preko izmjenljivih zupčanika a, b, c, i d vretena stola glodalice ㉝. Pri tome je za izabrani zakret ručice n_k, a za jednu dužinsku diobu t, pri koraku stola s potreban prijenos izmjenljivih zupčanika.

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{t \cdot z_2}{s \cdot n_k \cdot z_1}$$

Primjer. Potrebno je izraditi nonijus s podjelom $t = 0{,}1$ mm na glodalici sa $s = 5$ mm i diobenom glavom $z_2/z_1 = 40$. Potreban prijenos pri izabranom zakretu ručice $n_k = 1$ je:

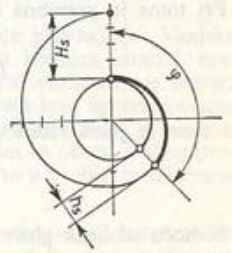
$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{0{,}1 \cdot 40}{5 \cdot 1 \cdot 1} = \frac{4}{5} = \frac{40}{50}$$



㉞ Obrada Arhimedove spirale

Obrada Arhimedove spirale može se jednostavno provesti na glodalici s nagibljivom vertikalnom glavom tako da se izradak učvrsti na vreteno diobene glave čija je rotacija kinematski povezana s vretenom stola preko izmjenljivih zupčanika a, b, c, d ㉞. Pri usponu spirale h_b na kutu φ je uspon na kutu 360° ㉟:

$$H_s = \frac{h_s \cdot 360°}{\varphi°}$$

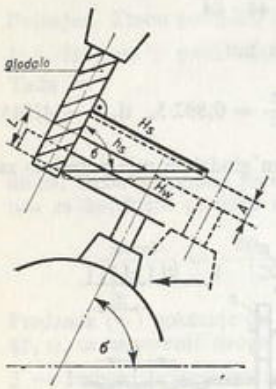


㉟ Obrada Arhimedove spirale

Pri glodanju s vertikalno postavljenim glodalom ($\sigma = 90°$) potreban prijenos izmjenljivih zupčanika iznosi pri usponu vretena stola s:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{s \cdot z_2}{H_s \cdot z_1}$$

Točan uspon spirale pri upotrebi raspoloživih zupčanika postiže se zakretom osi vretena diobene glave i glodala. Prijenos izmjenljivih zupčanika odredi se za približan uspon i korigira spomenutim zakretanjem. Pri tome će za jedan okret diobenog vretena umjesto punog uspona spirale H_s stol prevaliti put H_w ㊱, pa je:



㊱ Obrada Arhimedove spirale

$$\sin\sigma = \frac{H_s}{H_w}$$

odnosno prijenos izmjenljivih zupčanika:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{s \cdot z_2}{H_w \cdot z_1}$$

Primjer. Potrebno je obraditi Arhimedovu spiralu, koja se na kutu $\varphi = 280°$ proširuje od 72 na 100 mm. Korak vretena stola glodalice je $s = 6$ mm, a diobena glava ima $z_2/z_1 = 60$.

Uspon spirale je $h_s = 100 - 72 = 28$ mm, tj.

$$H_s = \frac{28 \cdot 360°}{280°} = 36 \text{ mm}.$$

Potreban zupčani prijenos je:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{6 \cdot 60}{36 \cdot 1} = \frac{10}{1} = \frac{4 \cdot 2{,}5}{1 \cdot 1} = \frac{100 \cdot 75}{30 \cdot 25}$$

Pretpostavimo da imamo na raspoloženju zupčanike

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{100 \cdot 72}{32 \cdot 28}.$$

Njima dobijemo hod stola za vrijeme jednog okreta diobenog vretena:

$$H_w = \frac{s \cdot z_2}{z_1} \cdot \frac{b \cdot d}{a \cdot c} = \frac{6 \cdot 60}{1} \cdot \frac{28 \cdot 32}{72 \cdot 100} = 44{,}8 \text{ mm}.$$

Da bi se ugradnjom tih zupčanika obradila zadana spirala, potrebno je zakrenuti osi na kut:

$$\sin\sigma = \frac{H_s}{H_w} = \frac{36}{44{,}8} = 0{,}803, \text{ tj. na } \sigma = 55°30'$$

Pri tome je potrebna radna dužina glodala ㊱:

$$L = \frac{h_s}{\operatorname{tg}\sigma} = \frac{28}{1{,}351} = 28{,}8 \text{ mm} \approx 21 \text{ mm}$$

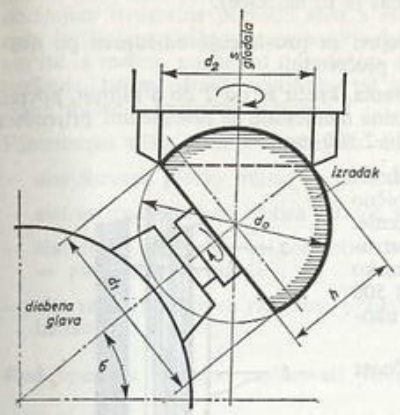
i time je puna radna dužina glodala:

$$L_{gl} = L + A.$$

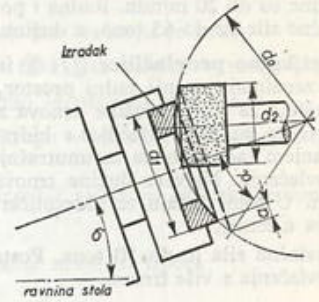
Pomoću diobene glave mogu se obrađivati izraci s kuglastim površinama. Izradak se upne u vreteno diobene glave i tokom obrade se zakreće. Os vretena treba da je pri

tome postavljena pod kut σ. Alat može biti upet u horizontalno ili u vertikalno vreteno, a može biti glodalo i lončasta brusna ploča s radnim promjerom d_2. ㊲ prikazuje obradu konveksne plohe, a kut namještanja za ucrtane oznake je:

$$\cos\sigma = \frac{d_2}{d_0}; \quad \cos\sigma = \frac{h}{d_2} \quad \text{ili} \quad \sin\sigma = \frac{d_1}{2d_2}$$



㊲ Obrada kuglastog izratka



㊳ Obrada kalote

㊳ prikazuje obradu konkavne plohe, a za oznake prema slici je:

$$\sin\alpha = \frac{d_1 + 2a}{d_0}; \qquad \sigma = \frac{\alpha}{2}; \qquad d_2 = \frac{d_1 + 2a}{2\cos\sigma}$$

Točnost diobenih uređaja bitno ovisi o kvaliteti uležištenja diobenog vretena, o točnosti puža i pužnog kola, a napose o zračnosti u zahvatu između puža i kola itd. Stoga se izvodi uležištenje diobenih vretena s konusom, a njegovim podešavanjem možemo eliminirati svaku zračnost. Zračnost zahvata puža uklanja se zakretanjem ekscentričnog tijela ležaja puža, ili podizanjem tog tijela oko okretišta, ili aksijalnim premještanjem puža s različitim usponima lijevog i desnog boka zuba puža, ili ugradnjom dvaju međusobno prednapetih puževa diobenih stolova.

212.06 PROVLAČILICE

Provlačilice mogu po namjeni biti za vanjsko i za unutrašnje provlačenje. Vanjsko je provlačenje onda kada tim postupkom obrađujemo vanjsku konturu izratka, npr. zube zupčanika. Unutrašnje je pak provlačenje kada trnom obrađujemo stijene nekoga provrta u izratku, npr. utor za klin na zupčaniku. Prema vrsti alata koje upotrebljavamo možemo provlačenje provoditi s trnom od jedne rezne oštrice ili više njih. Pri radu s trnom od jedne rezne oštrice primjenjuje se poseban uređaj kojim se nakon svakog provlačenja zauzima dubina reza ovisna o materijalu alata i izratka te o profilu provlačenja. (Vidi: blanjalice za utore.)

Prema izvedbi provlačilice se grade kao vertikalne (manje dužine trnova) ili horizontalne (veće dužine trnova).

Način izvođenja pravocrtnog radnog hoda može biti različit:

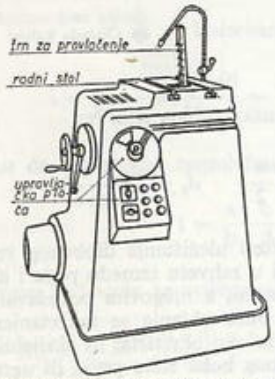
- mehanički — vijčano vreteno i matica, zubna letva i zupčanik i rijetko preko Gallova lanca i lančanika
- hidraulički — putem cilindra i klipa (danas je to najčešće).

U nekim vertikalnim izvedbama postoje strojevi za provlačenje odjednom po dva ili po tri izratka. Upotrebljavaju se u serijskoj proizvodnji.

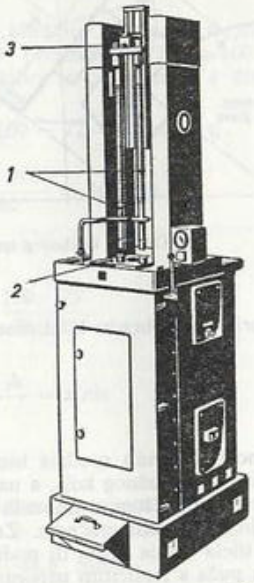
Brzine rezanja, ovisno o materijalu alata i izratka, kreću se od 2 do 5 m/min, povratne brzine su do 20 m/min. Radna i povratna brzina namještaju se bestepenim prijenosom. Vučne sile su do 65 tona, a dužine hodova do 2 500 mm.

Vertikalne provlačilice ① i ② imaju prednost da zauzimaju manji radni prostor, ali se obično izvode i za kraće dužine trnova za provlačenje. Pretežno su to provlačilice s hidrauličkim ostvarivanjem radnog hoda za unutrašnje i za vanjsko provlačenje. Najveće dužine trnova su do 1 500 mm. U tom slučaju se hidraulički cilindar ukopava u temelj.

Provlačna sila je do 50 tona. Postoji mogućnost provlačenja s više trnova.

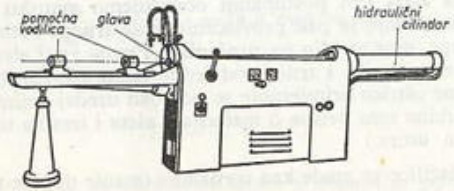


① Vertikalna kratkohodna provlačilica



② Vertikalna hidraulička provlačilica sa dva trna. Sila provlačenja do 32 tone, dužina provlačenja do 1 500 mm (1 — trnovi za provlačenje, 2 — radni stol, 3 — držač trnova pri povratnom hodu)

Horizontalne provlačilice ③ mogu biti za unutrašnje i za vanjsko provlačenje, što ne mijenja znatno oblikovanje stroja. Nisu ograničene u dužini trna, ali zauzimaju veću radnu površinu.



③ Horizontalna hidraulička provlačilica. Sila provlačenja do 35 tona, dužina provlačenja do 1 800 mm

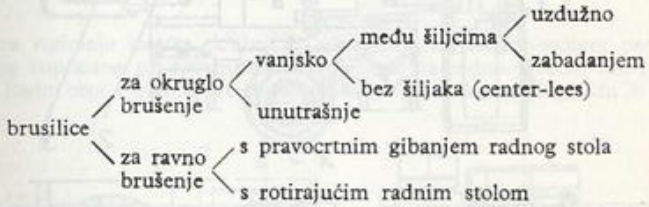
212.07 BRUSILICE

Brusilice su alatni strojevi kojima se završno, na mjeru, obrađuju ravne i poprečne profilirane površine, prizmatični utori, žljebovi, zupčanici i navoji. Materijal se obrađuje skidanjem strugotine pomoću alata s mnogo oštrica — brusne ploče, koja rotira. Obrada brušenjem obično je nastavak neke prethodne obrade: bušenja, glodanja, tokarenja itd. s malim, unaprijed određenim dodacima, iako danas imamo i tzv. produktivno brušenje, kojim odmah postižemo od poluproizvoda (otkovka, odljevka, otpreska) završne mjere i kvalitetu površine.

Kinematska slika gibanja u zahvatu alat — izradak pri brušenju je ova:

- alat (brusna ploča) rotira — izradak se kreće samo pravocrtno = ravno brušenje
- alat rotira — izradak rotira i kreće se pravocrtno = okruglo brušenje
- alat rotira oko svoje osi, os rotira po nekom krugu — izradak se kreće pravocrtno = planetarno brušenje
- alat rotira i kreće se radijalno pravocrtno — izradak rotira = okruglo brušenje zabadanjem.

Kod brusilica moramo razlikovati prema izvedbama nekoliko tipova:



Vretenište brusne ploče (glavno vretenište) može se izvesti tako da os oko koje se okreće brusna ploča bude horizontalna ili vertikalna. Kod velikih brusilica za ravno brušenje prizmatičnih površina os se može nagibati između horizontalnog i vertikalnog položaja prema potrebi (na primjer pri brušenju kosih ploha vodilica alatnih strojeva). Zbog relativno visokog broja okretaja potrebna je veća snaga za prigon vretena brusne ploče, a izvodi se obično preko beskonačnog plosnatog ili klinastog remena da bi se izbjegla trešnja ①.

Brusno vretenište mora biti uležišteno u ležaje povišene preciznosti izvedbe radi povećanih zahtjeva s obzirom na točnost pri obradi brušenjem. Ta povećana točnost mora se ispuniti tokom procesa obrade, dakle pod opterećenjem, pa to zahtijeva pažljivo dimenzioniranje elemenata. Brusno vretenište izvodi obično i hod po dubini obrade, čija se veličina može podešavati u vrijednosti od 0,001 mm pa naviše po jednom hodu stola.

Rezna brzina obično se kreće od 20 do 35 m/s, već prema materijalu izratka, kvaliteti obrade, brusu itd., a podešava se najčešće polno-preklopivim elektro-motorom i prijenosnim omjerom remenica.

Prikladnim oblikovanjem brusne ploče te zakretanjem osi vrtnje moguće je istodobno brušenje cilindričnih i priključenih čeonih prstenastih ploha izratka.

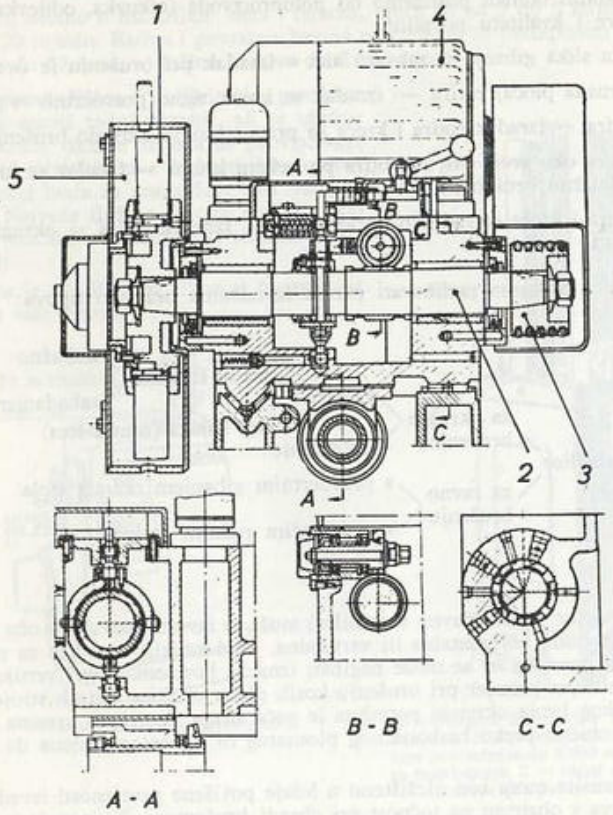
Vretenište za prihvat izratka može biti izvedeno na razne načine da bi se omogućila ova gibanja:

- radni stol s čvrsto upetim izratkom izvodi pravocrtno posmično gibanje amo-tamo; to je ravno brušenje, planetarno brušenje;

– radni stol se okreće oko vertikalne osi, a izradak je čvrsto upet – ravno brušenje;

– radni stol se giba amo-tamo, a izradak upet među šiljcima ili u stezaču rotira – vanjsko ili unutrašnje okruglo brušenje;

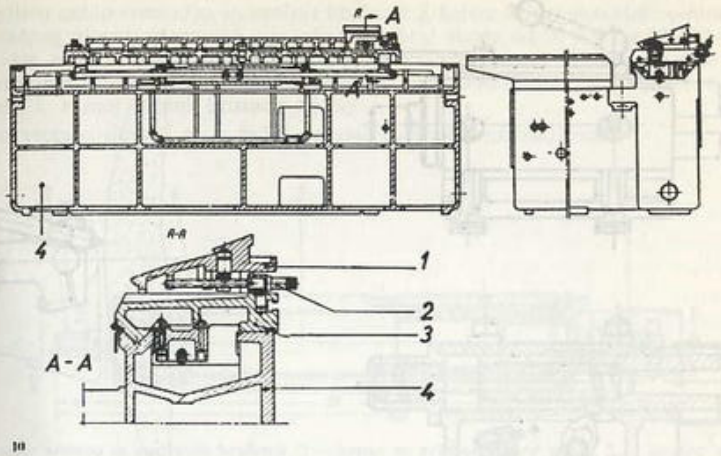
– radni oslonac – miruje, a izradak se valja po njemu – brušenje bez šiljaka (center-lees).



① Vretenište brusilice za vanjsko brušenje (1 – pravilno upeta brusna ploča, 2 – vreteno, 3 – klinasta remenica prijenosa s elektro-motora, 4 – elektro-motor, 5 – zaštita oko brusne ploče)

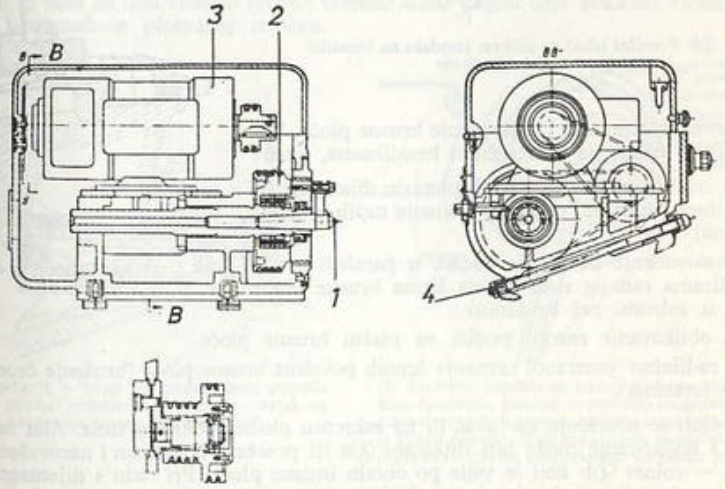
Pravocrtno gibanje danas se pretežno ostvaruje hidrauličkim putem. Brzina posmaka promjenljiva je bestepeno od 0,1 do 8 m/min. Dužine hodova lako su promjenljive a udešavaju se podesivim graničnicima. Da bi se omogućilo tačno podešavanje, graničnici imaju mikrometarske vijke, kojima se dotjeruje dužina prekretanja. Točnost prekretanja hoda stola kod brusilica s takvim graničnicima iznosi od 0,01 mm pa do 0,05 mm ②.

Kod brusilica za okruglo brušenje radni stol se obično može okretati oko vertikalne osi, pa je time omogućeno brušenje koničnih površina, osovina, provrta i uvrta.



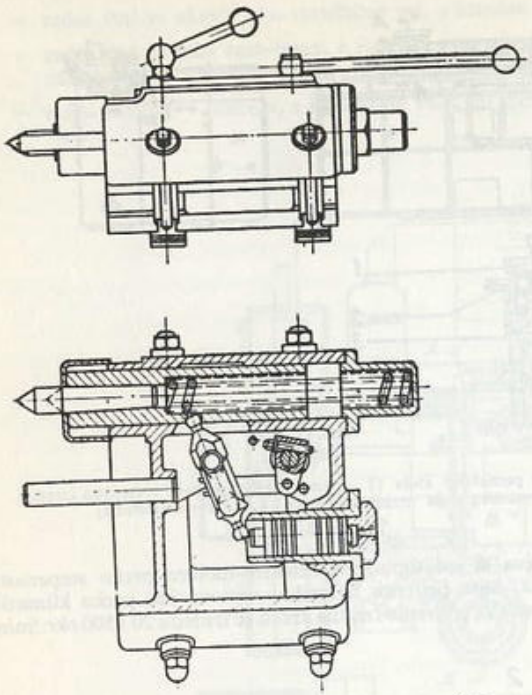
② Postolje brusilice s hidrauličkim pomakom stola (1 – kosi stol za prihvat vreteništa izratka, 2 – udesno vreteno, 3 – osnova stola – klizni suport, 4 – krevet postolja)

Prigon za rotiranje izratka dobiva se od ugrađenog elektro-motora preko stepenasto izvedenog zupčastog prijenosnika. Sam prijenos na radno vreteno ide preko klinastih remena. Radni brojevi okreta vretena za rotiranje izratka kreću se između 20 i 500 okr./min, ③a.

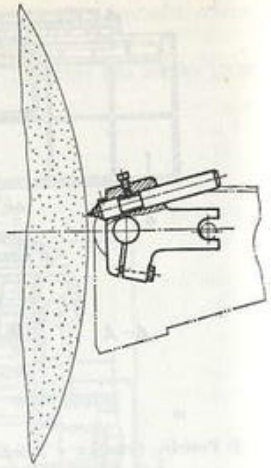


③a Vretenište za prihvat izratka na brusilici za vanjsko brušenje (1 — stezni dio, 2 – klinaste remenice, 3 — pogonski elektro-motor, 4 — stezač na ploči stola)

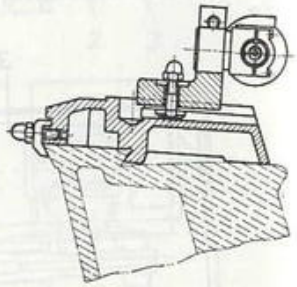
Dugački izraci upinju se između šiljaka vreteništa i pomičnog jahača ③a i b, a moment vrtnje prenosi se na izradak pomoću tokarskog srca. Kratki izraci, osobito pri unutrašnjem brušenju, stežu se u posebnim zahvatnim glavama, čahurama itd.



③b Pomični jahač za prihvat izradaka na brusilici za vanjsko brušenje



④a Dijamantni uređaj za izoštravanje brusne ploče



④b Uređaj s valjčićem za oblikovanje brusne ploče

Uređaj za izoštravanje i oblikovanje brusne ploče, koji se često nalazi na suvremenim brusilicama, služi:

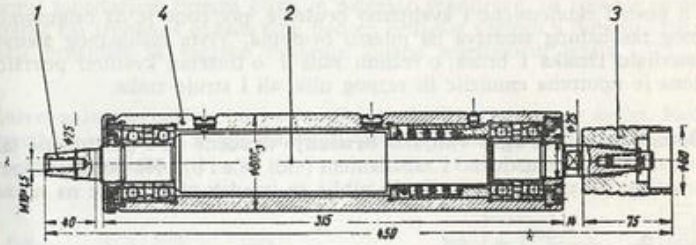
- za izoštravanja brusne ploče pomoću dijamanta ili »rolne« (skidanje, odnosno izbijanje tupih brusnih zrna)
- za dovođenje brusne izvodnice u paralelu s vodilicama radnog stola (cijela širina brusne ploče je u zahvatu pri brušenju)
- za oblikovanje raznih profila na plaštu brusne ploče
- za radijalno (postrano) ravnanje čeonih površina brusne ploče (brušenje čeonih ploha na izracima).

Ti uređaji se učvršćuju na jahač ili na zakretnu ploču uzdužnog stola. Alat za izoštravanje i oblikovanje može biti dijamant ④a ili posebno oblikovan i narovašen metalni valjak — »rolna« ④b koji se valja po obodu brusne ploče. Pri radu s dijamantom oblikovanje se izvodi često kopiranjem sa šablone, a to s obzirom na točnost zahtijeva preciznu izvedbu uređaja. Pri radu s »rolnom« to nije potrebno jer plašt rolne koji se kotrlja po obodu brusne ploče ima »protuoblik«, koji treba da se profilira samo radijalnim utiskivanjem u rotirajuću brusnu ploču.

Uređaj za unutrašnje brušenje izveden kao zasebna cjelina postavlja se na brusno vreteništa i ima svoj pogonski elektro-motor. Katkad se postavlja kao dopunski pribor na druge alatne strojeve, npr. na tokarilice i na glodalice.

Izmjenljivo radno vreteno za unutrašnje brušenje ⑤ kojem daje pogon elektro-motor preko beskonačnog plosnatog remena ima vrlo visok broj okreta od 20 000 do 30 000 okr./min. Specijalne izvedbe s pneumatskom turbinom kao pogonom dostižu i preko 100 000 okr./min. Remenice raznih promjera lako su izmjenljive radi promjene broja okreta (ovisnog o reznoj brzini brusnog tijela).

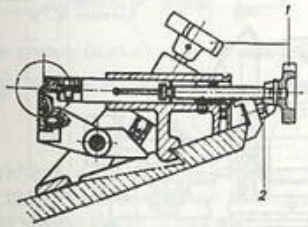
Brusno vreteno dovodi se u radni položaj posebnim mehanizmom.



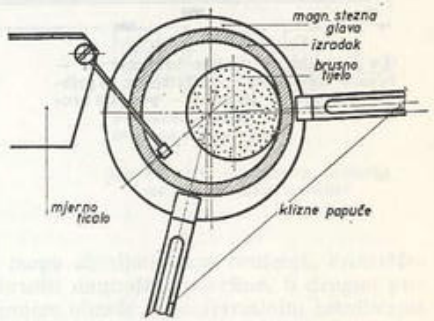
⑤ Brusno vreteno za unutarnje brušenje (1 — konus za prihvat brusne ploče, 2 — brusno vreteno, 3 — plosnata remenica, 4 — obočje vreteništa)

Montiranjem takvog uređaja za unutrašnje brušenje na brusilicu za vanjsko brušenje može se postići obrada izratka brušenjem izvana i iznutra u jednoj operaciji, tj. tako da se izradak skida s brusilice.

Lineta služi za podupiranje tankih i dugih izradaka prilikom brušenja da ne dođe do odstupanja u obliku zbog deformacije ⑥. Uređaj za čeono ravno brušenje čeonih ploha izveden je tako da ima vlastito brusno vreteno kome pogon daje poseban elektro-motor preko beskonačnog plosnatog remena.



⑥ Lineta (1 — vijci za podešavanje papuča linete prema promjeru izratka, 2 — vijak za pritezanje linete na radni stol)



⑦ Smještaj uređaja za stalno dodirno mjerenje tokom brušenja. Izradak se pomoću magneta s planske strane privuče, a prema vanjskom centrira se sa dvije klizne papuče. Stezanje kliznim papučama primjenjuje se za izratke s obrađenim vanjskim promjerom

Radni položaj namješta se najčešće hidrauličkim uređajem, a kod starijih izvedaba — mehanički.

Oblik brusnog tijela pretežno je lončast ili tanjurast. Ako je pločast, onda brušenje teče obodnim brušenjem ili je ploča sastavljena od segmenata koji vire iz osnovne ploče.

Uređaj za usporedno mjerenje i automatsko isključivanje rada pošto je postignuta tražena mjera ⑦ najčešće se nalazi na brusilicama za okruglo brušenje. Uređaj za usporedno

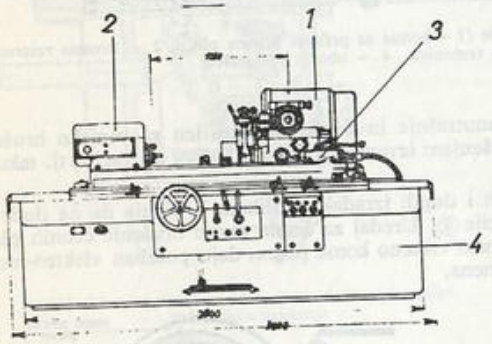
mjerenje služi za vidljivo pokazivanje mjere izratka tokom brušenja. Mjerenje je dodirno — mehaničko, električno ili bezdodirno — pneumatsko, elektromagnetsko. Uređaj za automatsko isključivanje regulacioni je uređaj koji služi za to da postavljenu mjeru održava tokom cijelog procesa brušenja u što užim granicama.

Uređaj za pročišćavanje rashladnog sredstva izrađuje se često kao posebna radna jedinica s vlastitim pogonom pumpe, elektromagnetskim odvajačem i filtrom.

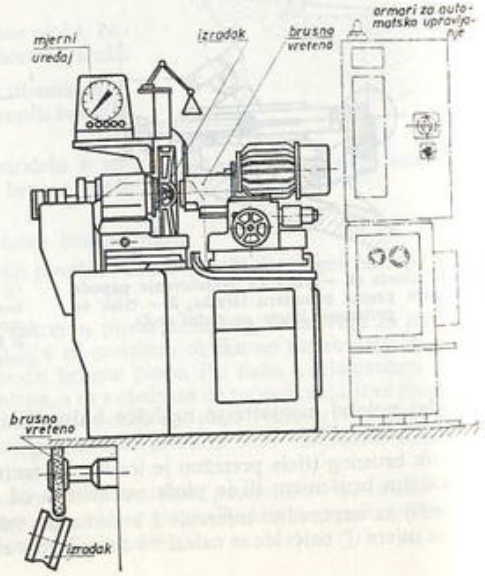
Može se lako prekopčavati sa stroja na stroj ili veća jedinica napaja nekoliko brusilica.

Želimo li postići ekonomično i kvalitetno brušenje, potrebno je da osiguramo dovoljno kvalitetnog rashladnog sredstva na mjestu brušenja. Vrsta rashladnog sredstva ovisna je o materijalu izratka i brusa, o režimu rada i o traženoj kvaliteti površine izratka. Uobičajena je upotreba emulzije ili reznog ulja, ali i struje zraka.

212.071 Brusilice za okruglo vanjsko brušenje izrađene su i opremljene tako da obradu brušenjem izvode uzdužno i zabadanjem (vidi ⑧a i b). Na podužem krevetu — postolju brusilice pri uzdužnom brušenju giblje se izradak okrećući se na nosaču radnog



⑧a Brusilica za vanjsko brušenje (1 — brusno vreteništе, 2 — vreteništе za prihvat izratka, 3 — jahač, 4 — postolje brusilice)



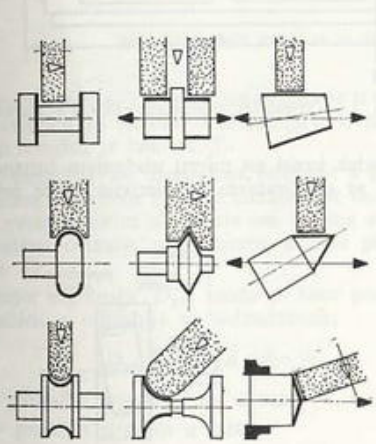
⑧b Automatska brusilica za vanjsko brušenje žlijeba ležaja (1 — izradak, 2 — brusno vreteno, 3 — uređaj za mjerenje tokom rada, 4 — ormari za automatsko upravljanje ciklusom rada)

stola amo-tamo u dužini koja je ograničena pomičnim graničnicima. Krevet je tako dug da radni stol i pri krajnjem položaju što manje strši izvan postolja.

Brusno vreteništе s okretnom brusnom pločom podešava se nakon svakog hoda radnog stola prema dubini. Okreće se vlastitim elektro-motorom i prigonom, a okretanje izratka izvodi vreteništе za prihvat izratka vlastitim prigonom. Izradak se najčešće upinje među nepomične ili okretne šiljke. Katkad se izraci upinju i u stezne glave ili u čahure.

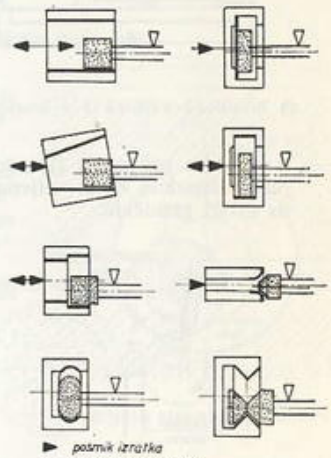
Pri brušenju zabadanjem brusna ploča je najčešće profilirana, os rotacije je pod nekim kutom prema osi izratka, a obrada teče hodom brusnog vretena u dubinu. ⑧b prikazuje automatsku brusilicu za vanjsko brušenje žlijeba kotrljajućih ležaja.

212.072 Univerzalne brusilice su po izradbi predviđene za mnoge svrhe. Radni stol s upetim izratkom na nosaču mogu zakrenuti oko vertikalne osi. Time je omogućeno brušenje koničnih površina.



▶ posmik izratka ▷ posmik brusne ploče

⑨a Primjeri vanjskog brušenja na univerzalnoj brusilici



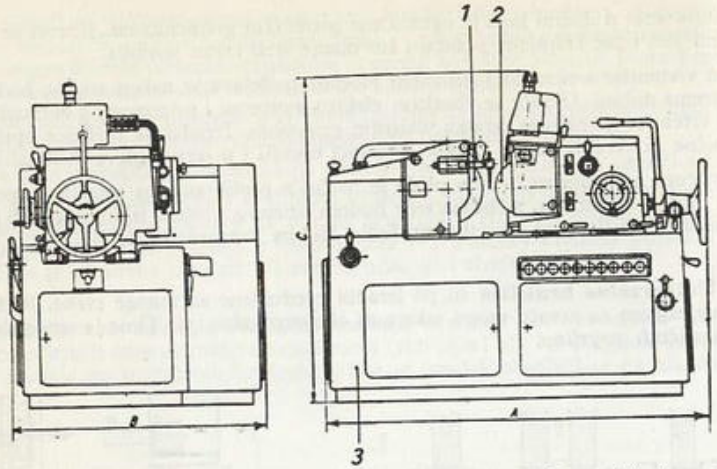
⑨b Primjeri unutarnjeg brušenja na univerzalnoj brusilici

Opskrbljene priborom, univerzalne brusilice mogu obavljati razna brušenja. Pričvršćenjem pribora za unutrašnje brušenje mogu brusiti unutrašnje površine. S drugim priborima mogu služiti i kao oštrilice alata. Primjere obrade na univerzalnim brusilicama prikazuju ⑨a i b.

212.073 Brusilice bez šiljaka (center-lees brusilice) izrađene su tako da se izradak okreće između dviju okretnih ploča, od kojih je jedna brusna, a druga regulativna. Brusna ploča okreće se velikom brzinom, a regulativna ploča smanjuje okretanje izratka na željenu veličinu, pa time omogućava proces brušenja izratka. Broj okretaja izratka i promjer regulativne ploče određuju se kutom nagiba regulativne ploče α i veličinom posmika izratka ⑩.

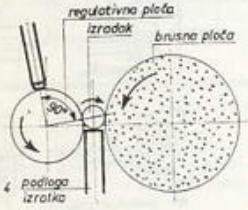
Te brusilice se najčešće primjenjuju u velikoserijskoj proizvodnji i rade na dva načina:

— postupkom prolaza izratka ⑪a, gdje izradak brušen na mjeru prolazi posmičnom brzinom sam između rotirajućih ploča

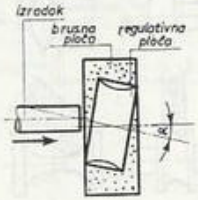


⑩ Brusilica bez šiljaka (1 — brusno vretenište, 2 — vretenište regulativne ploče, 3 — postolje)

— postupkom usijecanja ⑪b, gdje se izradak brusi na mjeru uležnjenjem brusne ploče prema izratku; za to vrijeme izradak se djelovanjem regulativne ploče pritiskuje na čvrsti graničnik.

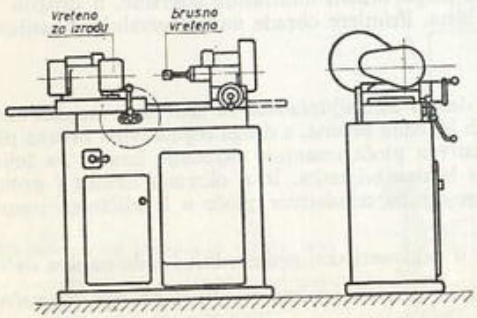


⑪a Princip brušenja bez šiljaka — prohodnog



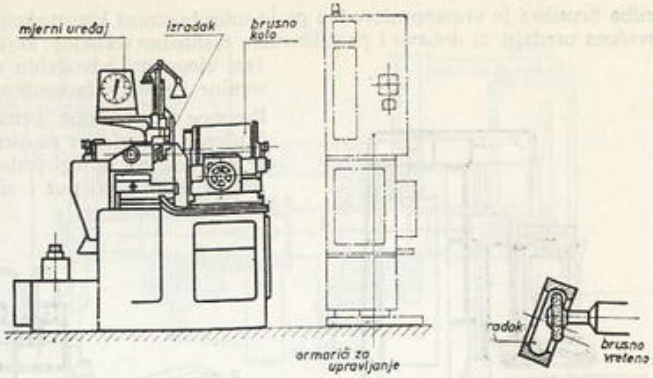
⑪b Brušenje izratka postupkom ubadanja (usijecanja) na brusilici bez šiljaka

212.074 Brusilice za unutrašnje brušenje slične su po izgledu brusilicama za vanjsko brušenje i izvode se često kao univerzalne brusilice. Namijenjene su brušenju provrta, pri čemu i izradak najčešće izvodi okretanje (što nije slučaj s tzv. planetarnim brusilicama). Promjer brusne ploče kod tih brusilica relativno je malen, ekonomična brzina rezanja brušenjem je velika pa se pri radu pojavljuju vrlo visoki brojevi okreta brusnog vretena (60 000 okr./min, pa i više). Ta pojava uz relativno veliku dužinu brusnog vretena traži poseban prilaz konstruiranju i izvedbi radi mogućnosti pojave trešnje pri radu, a time i smanjenja točnosti obrade ⑫a i b.



⑫a Brusilica za unutarnje brušenje

⑫b prikazuje automatsku brusilicu za unutrašnje brušenje žlijeba ko-



⑫b Automatska brusilica za unutarnje brušenje žlijeba ležaja

trljajućih ležaja. Ta brusilica vezana je u proizvodnji uz brusilicu za vanjsko brušenje ⑧ b. Uređaj za mjerenje izveden je kao na ⑦.

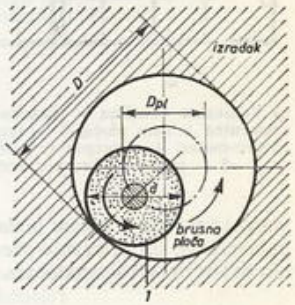
Kod brusilica za unutrašnje brušenje s planetarnim brusnim vretenom izradak miruje dok osovina brusnog vretena rotira oko svoje osi i giba se po krugu promjera ovisnog o promjeru brusne ploče i prostora ⑬.

Promjer tog kruga (D_{pl}) može se lako podešavati na brusilici, a određuje se jednadžbom:

$$D_{pl} = D - d \text{ gdje je}$$

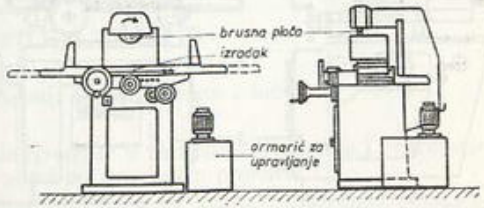
d = promjer brusne ploče u mm

D = promjer provrta u mm.



⑬ Princip planetarnog brušenja

212.075 Brusilice za ravno brušenje ili planske brusilice izrađuju se s brusnim vretenom postavljenim vertikalno ili horizontalno. Radni stol pri tome izvodi hodove amo-tamo u horizontalnoj ravnini, a može i rotirati oko vertikalne osi.

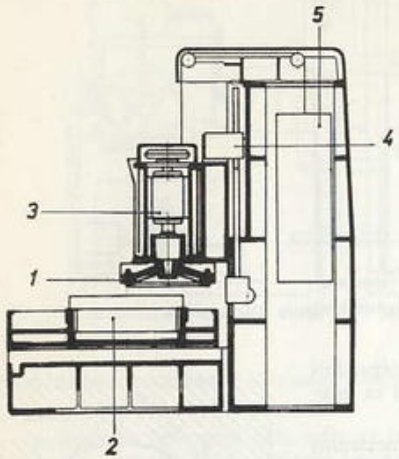


⑭ Manja brusilica za ravno brušenje (1 — brusno vreteno, promjer brusne ploče 203, 2 — radni stol 500 × 170, 3 — uređaj za rashladno sredstvo)

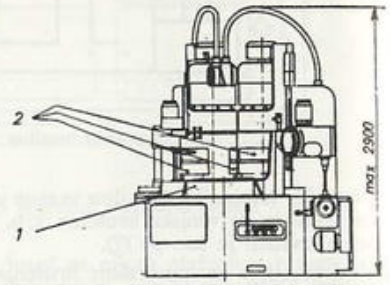
Dubina brušenja podešava se u oba slučaja pomakom brusnog vretena po visini. U horizontalnoj izvedbi brusnog vretena brus najčešće obrađuje svojim obodom ⑭, dok je pri vertikalnim izvedbama formiran u obliku lonca ili segmenata ⑮. Izvedbu trovretene vertikalne produktivne brusilice s okretnim radnim stolom prikazuje ⑯.

Ta izvedba brusilica je visokoproizvodna pa je uz robustnost konstrukcije posebna pažnja posvećena uređaju za dobavu i pročišćavanje rashladne tekućine, koja ovdje ima važnu ulogu pri odvođenju velikih količina topline i proizvoda brušenja.

Posebne su izvedbe brusilica za ravno brušenje, na primjer za oštrenje alata, gdje se primjenjuju mnogi pribori za upinjanje reznih alata (koji put i više njih odjed-

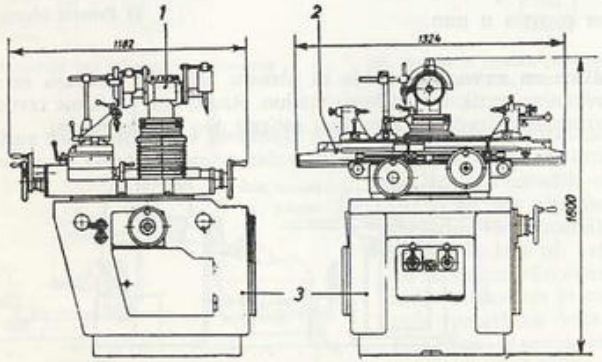


⑮ Vertikalna brusilica s kružnim stolom (1 — segmentna brusna ploča, 2 — kružni stol, 3 — elektro-motor, 4 — prigon za vertikalni posmak, 5 — protuuteg brusnog vreteništa



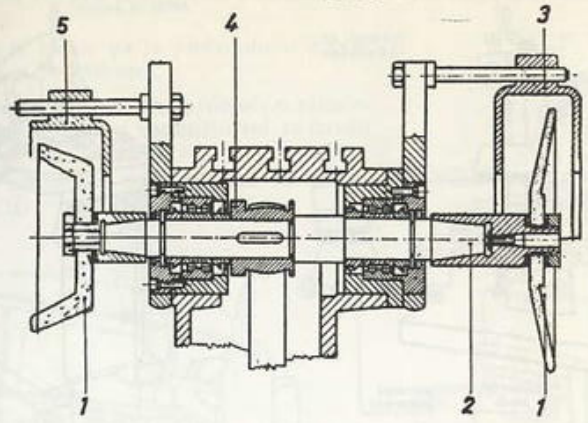
⑯ Izgled trovretene vertikalne brusilice s kružnim stolom (1 — kružni stol, 2 — brusna vreteništa)

nom) i zakretanje tokom hoda stola. ⑰ prikazuje oštrilicu alata koja s priborom postaje univerzalna. ⑱ prikazuje presjek vreteništa brusa oštrilice; vidljiva je mogućnost stezanja dvaju brusova istodobno.



⑰ Univerzalna oštrilica alata s dijelom pribora (1 — dvostruko brusno vreteno, 2 — stol za upinjanje izratka, 3 — postolje stroja)

Uz te dosad navedene tržišne izvedbe brusilica postoje i mnoge izvedbe za specijalne namjene, koje su posebno unaprijed izvedene da udovolje toj namjeni. Ne treba zbog toga misliti da su one uvijek neka potpuno nova konstrukcija, već se često radi o prilagođavanju jedne od osnovnih vrsta.



⑱ Radno vreteno oštrilice alata sa dva brusa (1 — lončasti i tanjurasti brusovi, 2 — vreteno, 3 — zaštita na brusovima, 4 — plosnata remenica)

Navedimo neke specijalne brusilice:

- za navoje i puževe
- za zupčanike i zubne letve
- za vodilice i uzdužno ižlijebljene osovine
- za vodilice i bregaste osovine
- za valjke — najveće brusilice
- za izradu žigova (čepova) i ostalo profilno brušenje pomoću profil-projektora, ručnog upravljanja pri vođenju brusne ploče po željenoj konturi
- brusilice centričnih utora
- i druge prema posebnim narudžbama i potrebama u proizvodnji.

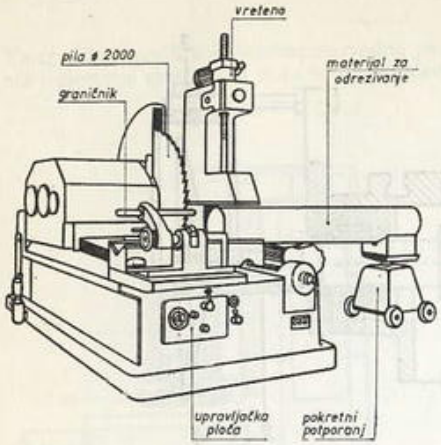
212.08 STROJNE PILE I TURPIJE

Strojne pile mogu biti: kružne, tračne i lučne.

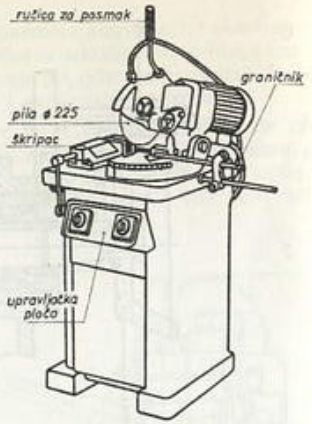
212.081 Kružne pile izvode se u različitim izvedbama i veličinama. Danas već rade pile tog tipa s listom pile i od dva metra promjera ①.

S obzirom na način kretanja u toku procesa odrezivanja imamo kružne pile s pravocrtnim posmičnim gibanjem (list pile najčešće se pomiče prema izratku) i izvedbe s njihajućim posmičnim gibanjem. Mogu raditi ručnim ②, mehaniziranim, a u novije vrijeme i automatskim ciklusom rada.

U željezarama, u valjaonicama, u pogonima metalnih konstrukcija itd. upotrebljavaju se visokoučinske tople i tarne kružne pile. Karakteristika im je da u procesu odrezivanja sudjeluje samo narovašena obodna površina, a radne brzine kreću se do 100 m/s.



① Hladna kružna pila



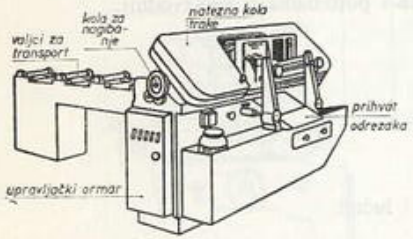
② Kružna pila za ručno odrezivanje

212.082 Tračne pile izvedene su slično kao i one za obradu drveta. Namijenjene su za točnije radove isijecanja i odsijecanja, najčešće pri izradi alata.

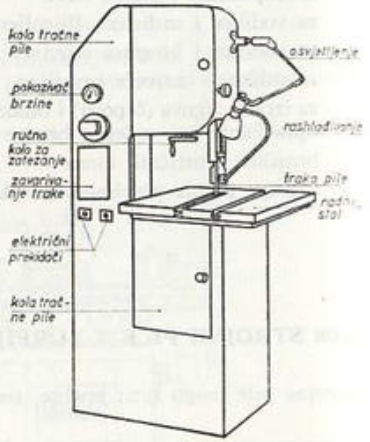
Takvim pilama mogu se iz pločastog materijala izrezivati po unaprijed zacrtanoj konturi razni oblici. Posluživanje je ručno, a to znači stanovitu opasnost za poslužioca i nameće izvođenje zaštitnih mjera pri radu.

Postoje i automatizirane izvedbe za odsijecanje ③ i ④.

Ovdje možemo dodati specijalne izvedbe tračnih pila za isijecanje elemenata poluvodiča. Ulogu rezne trake ovdje ima žica promjera 0,1 mm.



③ Automatska tračna pila za odsijecanje



④ Tračna pila – s dodatnim uređajima može raditi kao strojna turpija, tračna brusilica ili polirka

212.083 Lučne pile izvedene su po načelu ručne lučne pile za drvo ⑤, samo su s motornim pogonom. Služe prvenstveno za odrezivanje malih do srednjih izradaka.

Pri radu imaju neke prednosti i maleni gubitak uslijed odrezivanja (tanki rezni list). List pile je jeftin i lako je izmjenljiv.

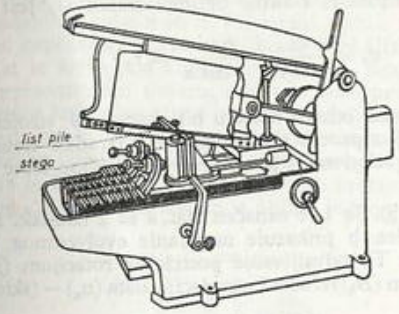
Taj tip pile moguće je potpuno mehanizirati, pa i automatizirati. Novije izvedbe su hidrauličke, dok su starije i manje mehaničke.

212.084 Strojne turpije izvedene su s vertikalnim hodom turpije, a katkad se ovaj može i nagibati ⑥.

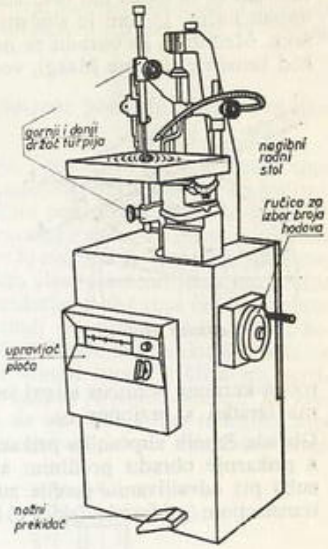
Posluživanje je ručno pa je proizvodnost i kvaliteta ovisna o poslužiocu.

Danas se strojne turpije gotovo isključivo primjenjuju u pogonima koji su specijalizirani za izradu alata i matrica za štancanje i sl.

U mnogim poslovima zamijenile su ih tračne pile, kao na ④.



⑤ Lučna pila za odrezivanje. Najveći promjer 300, 185 hodova u min, snaga motora 1,1 kW



⑥ Strojna turpija

212.09 STROJEVI ZA OZUBLJAVANJE

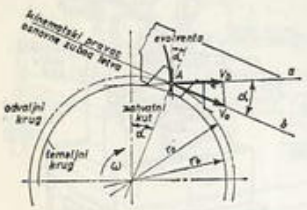
Izradak se ozubljuje pomoću posebno profiliranog alata ili šablone i postupkom odvaljivanja. Obrada ozubljenja dijeli se, nadalje, prema vrsti izradaka pa imamo obradu čeonih zupčanika s ravnim i kosim zubima, lančanika, klinastih osovina itd., stožnih zupčanika s ravnim, kosim ili zakrivljenim zubima te posebne vrste zupčastih spojki. Prema postupku izrade obrada se dijeli na ozubljivanje, tj. na glodanje, na dubljenje, grebanje i na dotjerivanje, tj. na finu obradu: brušenje, lepanje i brijanje.

Postupkom obrade ozubljenja profilnim alatom ili šablonom mogu se obraditi čeoni zupčanici s ravnim ili kosim zubima, lančanici, klinaste osovine i druga profilna ozubljenja. Pri tome alat, odnosno šablona ima oblik sukladan profilu međuzubnog prostora. Prema postupku obrade s profilnim alatom, odnosno šablonom ozubljenje se izvodi glodanjem s pločastim ili prstastim glodalom i blanjanjem, a dotjeruje se brušenjem. Kompletan izradak se pri tome obrađuje postupno, tj. nakon obrade jedne uzubine izradak se zakreće za jednu diobu pa se obrađuje slijedeća uzubina. Stoga se takav način obrade često naziva i diobeni postupak, premda se sa sistemom dijeljenja obrađuje i pri postupku odvaljivanja.

Najjednostavnija obrada, bez potrebe posebnog stroja, jest glodanje profilnim glodalom uz pomoć diobene glave. Ono se primjenjuje samo u pomoćnim radionicama za obradu pojedinog zupčanika kad se ne zahtijeva veća točnost. Daljnji je nedostatak tog postupka što je za svaki modul, broj zubi ili korekciju potreban poseban alat.

Odvalnim postupkom obrađuju se čeoni zupčanici s evolventnim profilom, oktoidni stožni zupčanici (zahvatna linija je oktoida) ili izraci s posebnim oblikom zuba (lančanici, klinaste osovine itd.), ali tada je potreban alat kompliciranijeg oblika. Odvalni

postupak temelji se na zakonitosti nastanka evolvente. Odvaljuje li se (kotrlja) pravac po krugu bez ikakva sklizanja, tada će jedna točka tog pravca opisivati krivulju evolventu. Kad bi ta točka bio neki alat, on bi na zupčaniku obradio bok zuba pri kretanju na opisan način. U tom je slučaju krug po kom se odvaljuje pravac temeljni krug zupčanika. Međutim, za obradu se normalno ne upotrebljava alat u obliku jedne točke (osim kod brusilice sistema Maag), već u obliku zuba profila zubne letve ili zupčanika. Bokovi zuba zubne letve nagnuti su za kut α (zahvatni kut) prema normali na odvalni krug ①. Kinematski pravac alata (osnovne zubne letve) jest tangenta na odvalni promjer obrađivanog zupčanika. Brzina odvaljivanja na kinematskom pravcu alata, a da bi se na izratku obradio bok zuba s evolventom koja počinje na temeljnom krugu radijusa r_b i kutne brzine izratka ω, jest:

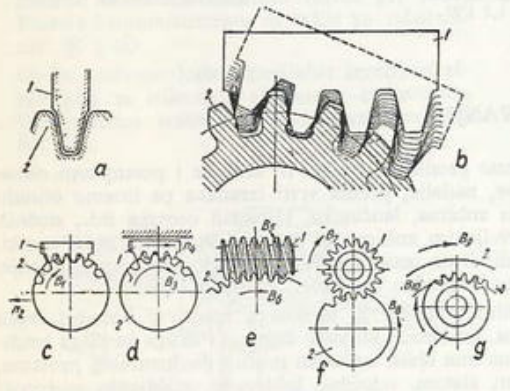


① Nastanak evolvente

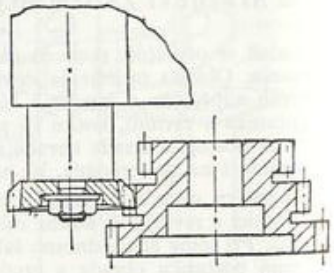
$$v_0 = \frac{v_g}{\cos\alpha} = \frac{r_b \cdot \omega}{\cos\alpha} = r_0 \cdot \omega$$

Ti kinematski odnosi moraju biti ostvareni strojem da bi se izvršio proces odvaljivanja, tj. izradak treba da rotira kutnom brzinom ω pri istodobnom relativnom pomaku profila zubne letve prema izratku s brzinom v_0.

Obrada čeonih zupčanika prikazana je na ②. Sa 1 je označen alat, a sa 2 izradak. Skica a prikazuje obradu profilnim alatom. Skica b prikazuje nastajanje evolventnog boka zuba pri odvaljivanju profila zubne letve. To odvaljivanje postiže se rotacijom (B_1)i translacijom (n_2) izratka (skica c) ili rotacijom (B_3) izratka i translacija alata (n_4) – (skica d.)



② Obrada ozubljenja: a – profilnim alatom, b, c i d – alatom u obliku češlja, e – alatom u obliku puža, f i g – alatom u obliku zupčanika

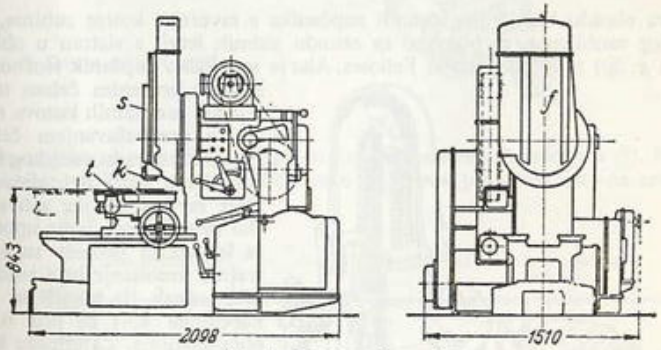

③ Obrada alatom u obliku zupčanika

Efekt relativne translacije profila zubne letve dobije se i rotacijom alata (B_5) u obliku puža (odvalno glodalo), a za odvalni proces potrebna je još rotacija izratka (B_6) – (skica e). Pri obradi alatom u formi zupčanika proces se izvodi rotacijom alata (B_7) i izratka (B_8) – (skica f). Unutarnje ozubljenje obrađuje se alatom u obliku zupčanika (skica g). Strojevi kod kojih se primjenjuje alat u obliku zubne letve ili zupčanika rade procesom blanjanja, a strojevi s alatom oblika puža rade procesom glodanja. Blanjanjem se mogu obraditi zupčanici konfigurirani s malim izlazom. Na primjer ③ prikazuje obradu zupčanika u slogu. Unutarnje ozubljenje može se obraditi samo blanjanjem pomoću alata

u obliku zupčanika. Unutarnje ozubljenje u masovnoj fabrikaciji obrađuje se i provlačenjem. Obrada glodanjem zahtijeva veći izlaz alata, no tim načinom moguća je i obrada pužnih kola. Alat za obradu zupčanika blanjanjem jednostavniji je od alata za obradu glodanjem.

212.091 Strojevi za obradu čeonih zupčanika blanjanjem pomoću alata u obliku zubne letve

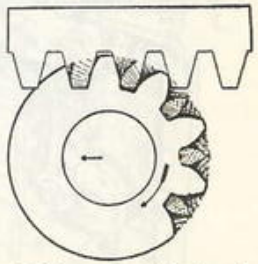
Alat u obliku zubne letve naziva se i alat u obliku češlja. Strojevi za obradu čeonih zupčanika s ravnim i kosim zubima, a alatom u obliku zubne letve izvedeni su po sistemu Sunderland (②d) i Maag (②c). Alat je nagnut za veličinu prednjeg kuta da bi se dobili povoljni kutovi rezanja, a projekcija režućih oštrica u ravnini zupčanika točno je jednaka standardnoj zubnoj letvi. Pri izradi ravnih zubi alat se kreće (radno kretanje) paralelno s osi zupčanika, a pri obradi kosih zubi klizač s nosačem alata zakrenut je za kut kosine i alat se kreće pod kutom kosine zubi. Kod stroja Sunderland alat ima radno kretanje u horizontalnom smjeru, odnosno koso prema horizontali pri obradi kosih zupčanika. Saonice koje nose klizač s alatom primiču se na početku obrade zupčaniku dok alat ne uđe u punu dubinu rezanja. Nakon toga započinje se kretati suport s klizačem vertikalno uz istodobnu rotaciju obradivanog zupčanika (os izratka je horizontalna). To kretanje je kinematski opisano odvalno kretanje. Budući da alat ima svega nekoliko zubi (moguća je obrada alatom u obliku jednog zuba), to se suport pomiče vertikalno samo



④ Odvalna dubilica sistem Maag

za jednu ili više dioba, zavisno o broju zubi alata. Nakon toga se zaustavlja odvalno kretanje, a saonice se pomaknu natrag tako da alat izađe iz zahvata. Sad se alat vraća u početni položaj, dok obrađivani zupčanik miruje. Saonice se ponovo kreću prema izratku do pune dubine rezanja i čitav se proces ponavlja.

Stroj po sistemu Maag ④ ima klizač *s* s vertikalnim radnim kretanjem alata k, dok je izradak položen, tj. os izratka je vertikalna. U svrhu obrade kosih zupčanika klizač se može zakretati u obje strane s nosačem f do 45°. Da bi alat došao na punu dubinu rezanja, stol t na poprečnim saonicama primiče se prema alatu. Odvalno kretanje izvodi izradak ⑤, koji je montiran na stolu t, a nastaje istodobnom translacijom izratka preko uzdužnih saonica i rotacije na stolu t. Za veći broj zubi izratka dužina alata nije dovoljna pa se poslije odvaljivanja određenog broja zubi rad stroja prekida. Klizač s alatom zaustavlja se u gornjem položaju izvan zahvata, izradak se vraća u početni položaj pomicanjem na uz-


⑤ Nastanak ozubljenja pri obradi postupkom Maag

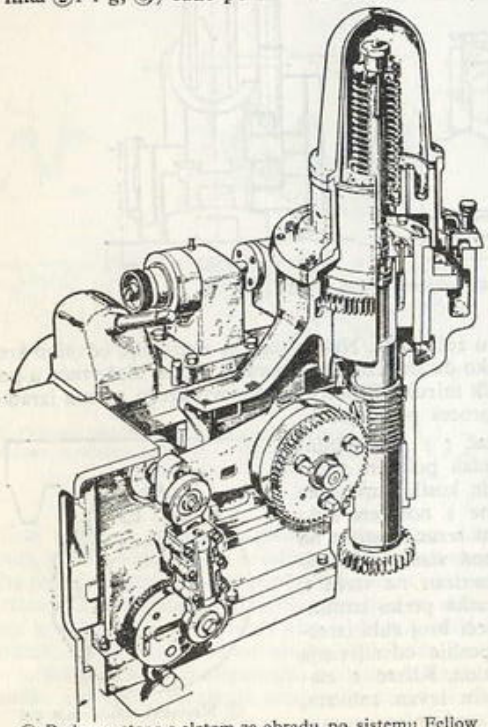
dužnim saonicama. Nakon toga se odvaljivanje i blanjanje automatski nastavljaju. Da se alat ne bi bespotrebno trošio i da bi se osigurala besprijekorna obrada, on se pri povratnom hodu (hod prema gore) uvlači da ne klizi po izratku, a odvaljivanje se izvodi korak po korak, tj. tokom rezanja (hod alata dolje) izradak miruje, a kretanja se obavljaju kad je alat izvan zahvata. Pri upotrebi alata u obliku samo jednog zuba zubne letve obavlja se odvalno kretanje za svaku uzubinu posebno. Na taj način obrađuju se zupčanici i u slučaju ako je potrebna specijalno točna obrada (izbjegavanje greške namještanja i oblika zubi alata). Alat je normalnog oblika kratke zubne letve i služi za obradu ravnih i kosih zupčanika s proizvoljnim brojem zubi dotičnog modula. Obrada korigiranih zupčanika s korekcijom pomicanja profila dobije se obradom pri kojoj se namješta samo korigirana dubina ulaska alata u izradak.

Alat u obliku zubne letve oštri se, kao i ostali profilni alati, prebrušivanjem gornje plohe. Kod manjih modula to se radi plošno, a kod većih ubrušivanjem dvaju kanala paralelnih s bridovima zuba zbog povoljnijeg prednjeg kuta. Za obradu kosih zupčanika s velikim kutom i kod male dužine izlaza upotrebljavaju se alati s kosim zubima.

Na stroju Maag može se prigraditi poseban uređaj, koji omogućuje obradu alatom u obliku zupčanika u svrhu obrade unutrašnjeg ozubljenja ili zubnih motki.

212.092 Strojevi za obradu zupčanika blanjanjem pomoću alata u obliku zupčanika

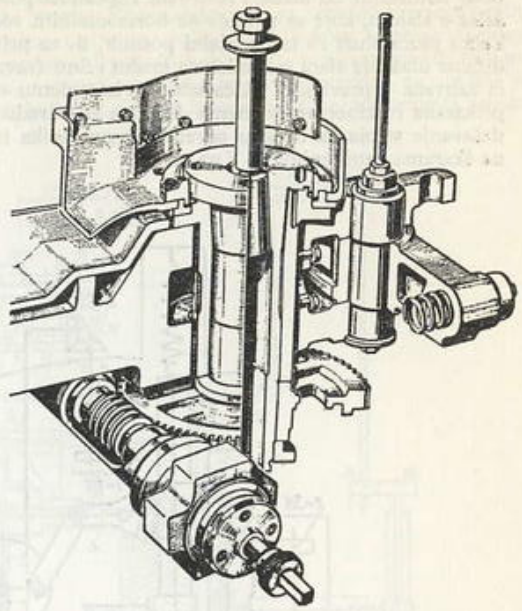
Strojevi za obradu blanjanjem čeonih zupčanika s ravnim i kosim zubima, vanjskog i unutrašnjeg ozubljenja, te posebno za obradu zubnih letvi, s alatom u obliku zupčanika ②f i g, ③) rade po sistemu Fellows. Alat je specijalan zupčanik stožnog oblika i s kalotno brušenim čelom u svrhu dobivanja normalnih kutova rezanja. Oštri se prebrušavanjem čelne kalotne plohe. Za obradu vanjskog i unutarnjeg ozubljenja služi isti alat, premda je zbog ravnomjernijeg zahvata za vanjsko ozubljivanje bolje upotrijebiti alat sa što većim brojem zubi, a za unutrašnje ozubljenje broj zubi alata može biti jednak ili manji od broja zubi zupčanika koji će biti u zahvatu s obrađivanima. Za obradu kosog ozubljenja alat mora imati jednak kut kosine zubi obrađivanog zupčanika. Zbog povoljnih kutova rezanja prednja površina zubi brušena je okomito na smjer zubi.



⑥ Radno vreteno s alatom za obradu po sistemu Fellow

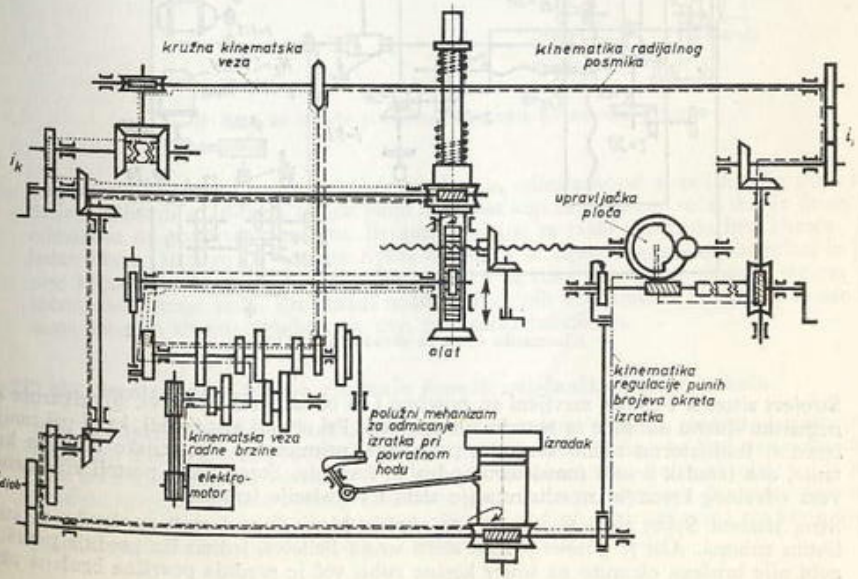
Odvaljivanje se pri tom postupku obrade postiže kinematskom vezom rotacije izratka i alata. Odnos broja okreta alata (reznog kola) prema broju okreta izratka (obradivanog zupčanika) jednak je odnosu broja zubi izratka prema broju zubi alata. Osim rotacije alat dobiva preko kulisnog pogona i translatorno kretanje ⑥ pri čemu je hod prema dolje radni hod. Namještanjem veličine ekscentriciteta određuje se dužina hoda, a promjenom dužine ojnice namješta se radni položaj alata. Vreteno-nosilac alata zavješeno je preko

opruge tako da je kulisni sistem rasterećen od težine vretena. Pri obradi kosih zupčanika alat dobiva dodatno rotaciono kretanje tako da se kreće u obliku zavojnice. Za to kretanje služi specijalna šablona, koja vodi vreteno u aksijalnom smjeru, a ima korak zavojnice jednak koraku zavojnice zubi obrađivanog zupčanika pa je za svaki zupčanik s drugom kosinom potrebna nova šablona.



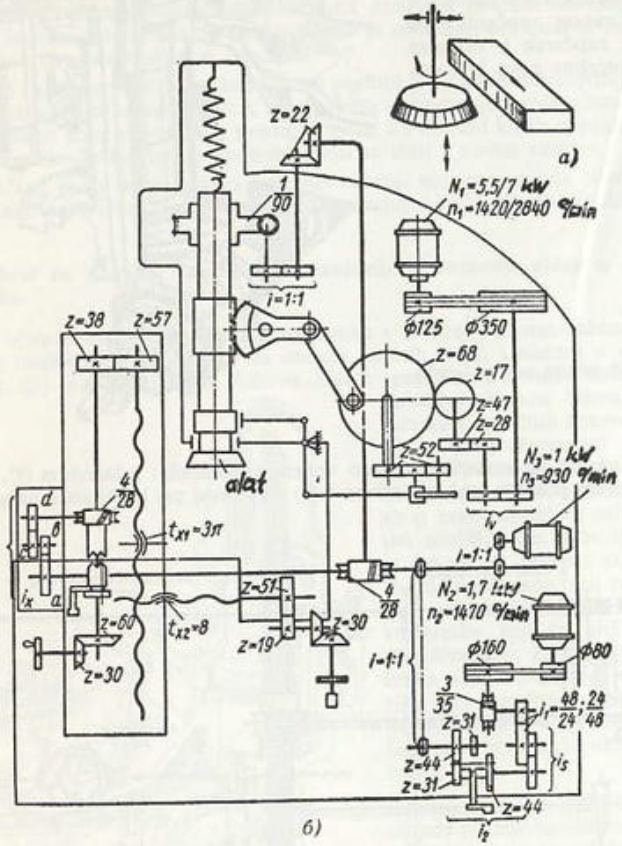
⑦ Stol za prihvat izratka

Izradak se upinje na vreteno precizno vođeno u koničnim ležajevima ⑦. Poseban kulisni mehanizam pokreće stol s izratkom tako da je ovaj pri hodu alata na gore (povratni



⑧ Kinematika stroja za obradu po sistemu Fellow

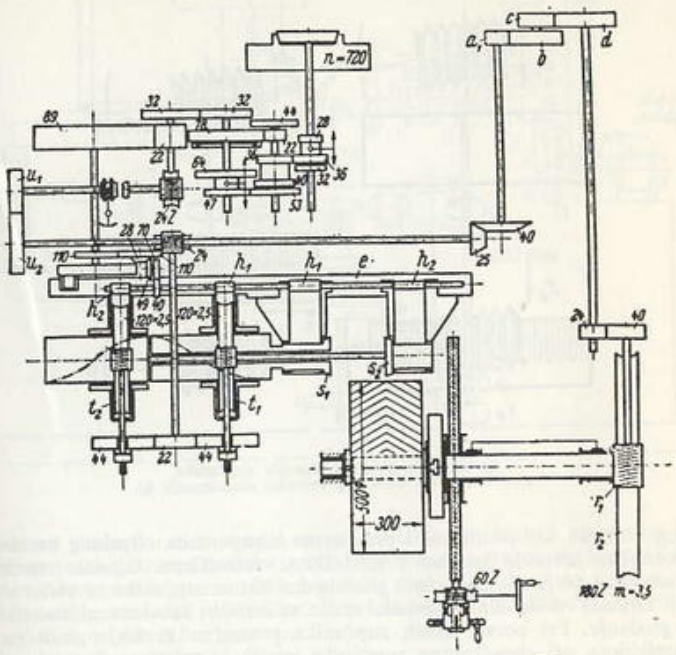
hod) odmaknut od alata. Pri obradi zupčanika posmično kretanje izvodi alat, tj. vretenište s alatom, koje se pomiče na horizontalnim vodilicama. Posebno oblikovana upravljačka ploča služi za taj radijalni posmik, tj. za primicanje alata izratku i za reguliranje dubine ulaženja alata u izradak za grubu i finu (završnu) obradu te konačno za izlaz alata iz zahvata. Upravljačka ploča učini za kompletnu obradu zupčanika jedan okret. Na ⑧ prikazana je kinematska shema dubilica za obradu čeonih zupčanika. Kinematsko podešavanje stroja za obradu određenog zupčanika izvodi se s izmjenljivim zupčanicima na škarama označenima sa *i* na shemi.



⑨ Kinematika stroja za obradu zubnih letvi

Strojevi sistema Fellows razvijeni su posebno i za obradu zubnih letvi. ⑨ prikazuje kinematsku shemu dubilice za obradu zubnih letvi. Pri obradi alat izvodi, kao i pri ranijoj izvedbi, translatorno radno kretanje, posmično (primicanje) i rotacijsko odvalno kretanje, dok izradak izvodi translatorno odvalno kretanje. Stoga ovdje postoji kinematska veza odvalnog kretanja između rotacije alata i translacije izratka.

Stroj sistema Sykes služi po pravilu za obradu blanjanjem čeonih zupčanika sa strelastim zubima. Alat je gotovo jednak alatu stroja Fellows, jedino što prednja površina zubi nije brušena okomito na smjer kosine zubi, već je prednja površina brušena okomito na os alata tako da su sve oštrice u jednoj ravnini. Stroj radi sa dva alata istodobno ⑩ (s_1 i s_2). Klizač *e* dobiva radno translatorno kretanje od ručice te nosi nosače alata za obradu lijeve i desne kosine zubi izratka. Kinematska veza za odvalno kretanje postignuta je od alata do izratka preko niza zupčanika, puža i pužnih kola. Vretena za pogon odvalnog kretanja alata dobivaju pogon od pužnih kola t_1 i t_2 preko posebnih šablona, slično kao i kod stroja Fellows za dodatno rotacijsko kretanje potrebno za obradu zavojnice. Pri tome kućišta s pužnim kolima t_1 i t_2 ne izvode translatorno kretanje zajedno



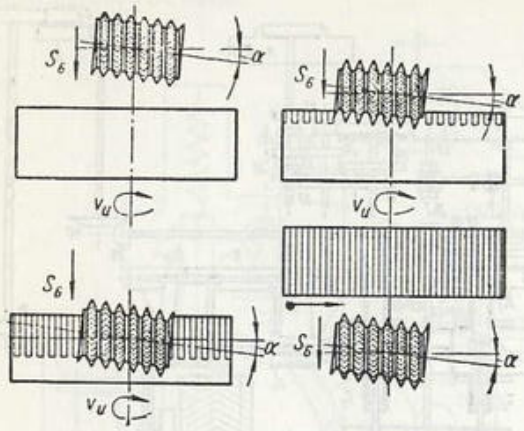
⑩ Stroj za obradu strelastog ozubljenja po sistemu Sykes

s klizačem. Bregasta osovina s grebenima h_1 i h_2 odmiče nosač alata i kućište puža tako da je u zahvatu s izratkom uvijek samo onaj alat koji momentano reže, dok je drugi alat odmaknut da ne klizi po izratku. Bregasta osovina za svaki dvostruki hod klizača čini jedan okret. Strojem po sistemu Sykes obrađuju se strelasti zupčanici izrađeni iz jednog komada bez posebnog slobodnog prostora za izlaz alata pa je stoga potrebno vrlo točno namještanje alata. Pri obradi normalnih čelnih zupčanika s ravnim ili kosim zubima na tom stroju obrađuju se dva zupčanika istodobno.

212.093 Strojevi za odvalno glodanje čeonih zupčanika i pužnih kola

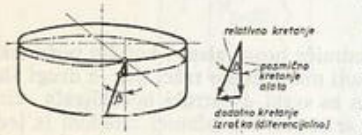
Alat za odvalno glodanje je natražno tokareno i natražno brušeno glodalo u obliku puža, čiji profil u normalnom presjeku je standardna zubna letva. Alat se oštri prebrušavanjem čela zubi u radijalnom kanalu koji je duž glodala okomit na smjer zavojnice. Da bi se postigla što veća točnost obrade, glodalo je po pravilu jednovojno i što većeg promjera. Pri obradi pužnih kola alat je natražno obrađen puž po dimenzijama i po broju vojeva jednak pužu koji će biti u sprezi s obrađivanim pužnim kolom.

Rotacijom glodala profil zubne letve aksijalno se pomiče. To se primjenjuje kao pravocrtna komponenta odvalnog kretanja tako da je potrebno obrađivani zupčanik samo još okretati. Stoga je za ostvarenje odvaljivanja nužna kinematska veza između rotacije glodala i izratka. Broj okreta glodala prema broju okreta obrađivanog zupčanika odnosi se kao broj zubi izratka prema broju vojeva glodala. Alat se namješta pod kut uspona odvalnog glodala α ⑪. Pri obradi kosih zupčanika kosine β alat se zakreće za kut $\beta + \alpha$, odnosno $\beta - \alpha$. To ovisi o tome obrađujemo li desni ili lijevi zupčanik. Osim radnog



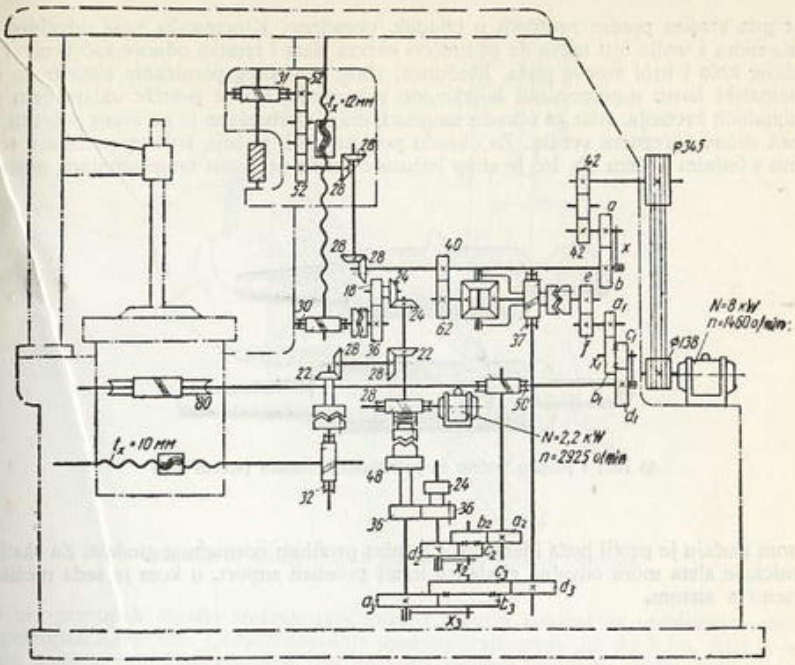
⑪ Odvalno glodanje čeonih zupčanika

rotacijskog kretanja, što je ujedno i pravocrtna komponenta odvalnog kretanja, alat izvodi i posmično kretanje zajedno s glodačkim vreteništem. Glodalo istodobno obrađuje sve uzubine, pa je nakon prolaza glodala duž širine zupčanika završena obrada (gruba i fina). Obrada na odvalnoj glodalici može se izvoditi kao istosmjerno ili kao protusmjerno glodanje. Pri obradi kosih zupčanika posmično kretanje glodaćeg vreteništa ostaje paralelno s osi obrađivanog zupčanika pa da bi relativno kretanje oštrice alata ocrtalo bok zuba pod kutom β, mora se dodati (ili oduzeti) stanovita veličina rotacijskog kretanja ⑫. To dodatno kretanje postiže se uključivanjem diferencijalnog prijenosa u kinematski lanac stroja. Veličina tog diferencijalnog kretanja podešava se izmjenljivim zupčanicima na škarama (način izračunavanja izmjenljivih zupčanika vidi u dijelu 212.051.0). Pri obradi zupčanika s ravnim zubima diferencijalni prijenos je isključen pa nema superponiranja rotacije izratka. ⑬ prikazuje kinematsku shemu odvalne glodalice. Sistem odvalnog glodanja prvi je razvio Pfauter. Ti strojevi izvode se u izvedbi s vertikalnom i horizontalnom osi izratka. Na ⑬ prikazana je vertikalna izvedba na kojoj se ujedno vidi da se stol s izratkom primiče alatu do potrebne dubine obrade, a glodaće vreteništе klizi po vertikalnim vodilicama. Horizontalne odvalne glodalice s dužim vodilicama za glodaće vreteništе služe za obradu klinastih osovina i pri isključivanju odvalne kinematske veze za glodanje navoja i puževa.



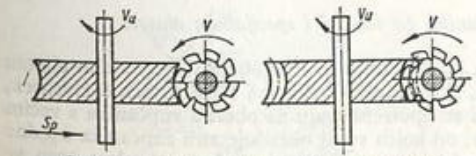
⑫ Dodatno kretanje za obradu kosog ozubljenja

Jedini ispravan način obrade pužnih kola postiže se odvalnim glodanjem. To se postiže na odvalnoj glodalici radijalnim ⑭ i tangencijalnim postupkom ⑮.

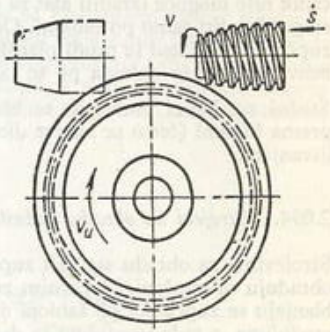


⑬ Kinematika odvalne glodalice sistema Pfauter

Pri radijalnom postupku alat obavlja samo rotacijsko kretanje i postavljen je točno u sredini širine pužnog kola. Izradak (pužno kolo) obavlja rotacijsko kretanje i sa stolom izvodi posmično kretanje prema alatu (radijalni ulaz alata) do pune dubine, nakon čega se stroj zaustavlja, a izradak je obrađen. Rotacija izratka i glodala čini odvalno kretanje pa su oni kinematski tako povezani da se broj okreta alata prema broju okreta izratka odnosi kao broj zubi pužnog kola prema broju vojeva puža (glodala). Taj je postupak primjenljiv do kuta uspona puža 8 do 12° jer se pri ulazu alata u izradak odsijeca dio zubi, a time se smanjuje i zahvatna dužina.



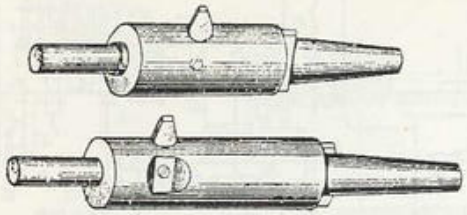
⑭ Obrada pužnog kola radijalnim postupkom



⑮ Obrada pužnog kola tangencijalnim postupkom

Pri tangencijalnom postupku alat ima rotaciju, koja je ujedno radno i odvalno kretanje, i posmično kretanje u tangencijalnom smjeru prema izratku (u smjeru osi alata). Izradak izvodi samo rotaciju. Alat i izradak međusobno su tako podešeni da je pužno kolo, kad

alat uđe svojim punim profilom u izradak, obrađeno. Kinematska veza odvalnog kretanja mora i ovdje biti takva da se brojevi okreta alata i izratka odnose kao brojevi zubi pužnog kola i broj vojeva puža. Međutim, zbog aksijalnog pomicanja alata treba u taj kinematski lanac superponirati korekciono zakretanje, što se postiže uklapanjem diferencijalnog kretanja. Alat za obradu tangencijalnim postupkom je na svom početku podrezan slično nareznom svrdlu. Za obradu pojedinačnih pužnih kola upotrebljava se alat samo s jednim nožem ⑯, što je zbog jeftinoće velika prednost tangencijalnog postupka.



⑯ Alat s jednim nožem za pojedinačnu obradu pužnih kola

U tom slučaju je profil noža identičan s punim profilom normalnog glodala. Za aksijalno pomicanje alata mora odvalna glodalica imati poseban suport, u kom je sada uležišteno vreteno s alatom.

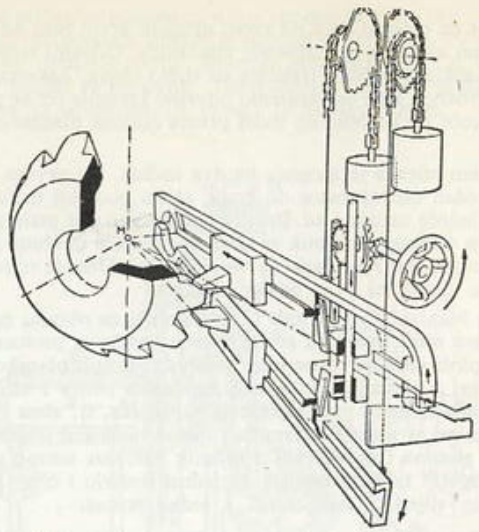
212.094 Strojevi za obradu stožnih zupčanika

Kod čeonih zupčanika baza za odvalni postupak obrade bila je zubna letva. Analogno tome, kod stožnih zupčanika to je tzv. planski zupčanik. On se predočuje profilom zubne letve povinutim na oplošje kugle tako da se kinematska ravnina poklopi s ravninom koja prolazi kroz ekvator kugle. Teoretski profil planskog zupčanika za evolventno stožno ozubljenje ima bokove izvedene iz dvostruko povijenih crta. Za takav planski zupčanik nije moguće izraditi alat za odvalni postupak. Evolventni stožni zupčanici se mogu stoga obraditi samo po šabloni. Odvalnim postupkom mogu se, međutim, obraditi stožni zupčanici tada kad je profil planskog zupčanika sastavljen od ravnih crta. U tom slučaju zahvatna crta je oktoida pa se takvi zupčanici nazivaju oktoidni stožni zupčanici.

Stožni zupčanici obrađuju se blanjanjem ili glodanjem, a prema postupku obradom prema šabloni (često se naziva diobeni postupak), specijalnim profilnim alatom ili odvaljivanjem.

212.094.1 *Strojevi za obradu stožnih zupčanika po šabloni i specijalnim alatom*

Strojevima za obradu stožnih zupčanika po šabloni, kao i za obradu specijalnim alatom obrađuju se zupčanici s ravnim zubima. Strojevima Oerlikon i Heidenreich & Harbeck, blanjaju se zupčanici po šabloni ⑰. Oni se upotrebljavaju za obradu zupčanika s većim modulima, a rade istodobno sa dva alata, od kojih svaki obrađuje zub zupčanika s jedne strane. Uzubine ozubljenja prvo se predobrade stepenastim nožem, a nakon toga se zubi obrađuju po šabloni jednom ili s više grubih obrada i jednom finom (završnom). Noževi se nalaze na klizačima, koji klize svaki u svojoj vodilici. Jedan kraj vodilice nalazi se u centru zupčanika, dok je drugi vođen po šabloni. Ova je jednostrana i vodi samo jednu vodilicu, dok se druga postavlja simetrično, što osiguravaju poluge, zubne letve i zupčanik. Za stvaranje pritiska na šablonu služe dodatni utezi.



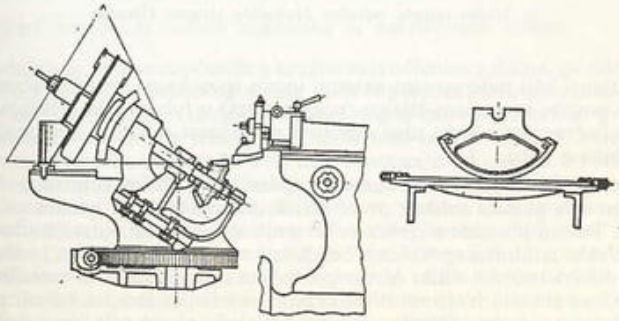
⑰ Blanjalica za obradu stožnih zupčanika po sistemu Oerlikon

Vrlo brz postupak obrade stožnih zupčanika s ravnim zubima sa specijalnim alatom jest postupak Revecyele. Obrada pojedine uzubine traje svega 2,5 do 3,5 s. Alat je specijalno kolo za postupak grebenja (provlačenja) velikog promjera, slično velikom glodalu, gdje je svaki zub drukčije veličine. Čitava obrada jedne uzubine završena je nakon jednog okreta alata. Ovaj pri tome izvodi i uzdužno kretanje duž širine boka zubi.

212.094.2 *Strojevi za obradu stožnih zupčanika odvalnim postupkom*

Odvalnim postupkom mogu se obraditi zupčanici s ravnim, kosim, kružnim ili spiralnim zubima.

Strojem za obradu po postupku Bilgram ⑱ obrađuju se blanjanjem stožni zupčanici s ravnim ili kosim zubima. Kao alat služi jedan nož u obliku zuba zubne letve. Pri obradi uzimaju se tri noža, i to prvi za grubu obradu međuzubnog prostora veličine najmanjeg mjesta. Drugi, sličnog oblika, služi za obradu samo desnih, a treći samo lijevih bokova zubi. Alat koji izvodi radno kretanje nalazi se na klizaču izvedbe slične kratkohodnoj blanjalici.

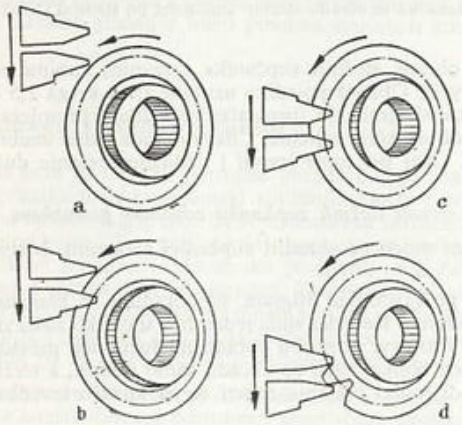


⑱ Stroj za obradu stožnih zupčanika po sistemu Bilgram

Izradak je učvršćen na osovini koja na svom drugom kraju nosi odvalni stožac — vršni stožac s kinematskim stošcem obrađivanog zupčanika. Odvalni stožac (izveden kao segment) povezan je tankim čeličnim trakama uz tijelo stroja. Zakretanjem nosača osovine alata preko puža i pužnog kola ostvarujemo odvalno kretanje jer se pri tome odvalni stožac kinematski zakreće preko čeličnih traka prema zubima planskog zupčanika, odnosno alata.

Pri postupku Bilgram obrada je moguća na dva načina. Pri prvom (upotrebljava se rjeđe) alat obrađuje jedan međuprostor do kraja, zatim podjelni mehanizam zakrene zupčanik za obradu slijedeće uzubine itd. Pri drugom načinu alat malo zareže prvu uzubinu, podjelni mehanizam zakrene zupčanik za obradu slijedeće uzubine itd. Tek kad se zupčanik jedanput zakrene, alat reže dalje na većoj dubini. Obrada traje pri tome tako dugo dok odvalni stožac ne učini pun odvalni zakret.

Postupak odvalnog blanjanja po metodi Gleason služi za obradu ravnih i kosih stožnih zupčanika. Alati (dva noža, svaki na svom klizaču, kreću se protusmjerno) nalaze se na velikoj rotirajućoj ploči tako da rezne ivice noževa čine zub planskog zupčanika. U čvrstoj kinematskoj vezi s rotacijom planskog zupčanika rotira i obrađivani zupčanik pa dolazi do odvaljivanja između zubi planskog zupčanika, tj. alata i obrađivanog zupčanika. Alat lagano zalazi u materijal izratka i nakon njegovog izlaza zub je obrađen ⑲. Zatim se glava s alatima i obrađivani zupčanik zakrenu natrag u početni položaj. U tom času diobeni aparat zakrene izradak za jednu podjelu i čitav se proces ponavlja, a alati sada obrađuju slijedeći zub, svaki s jedne strane.

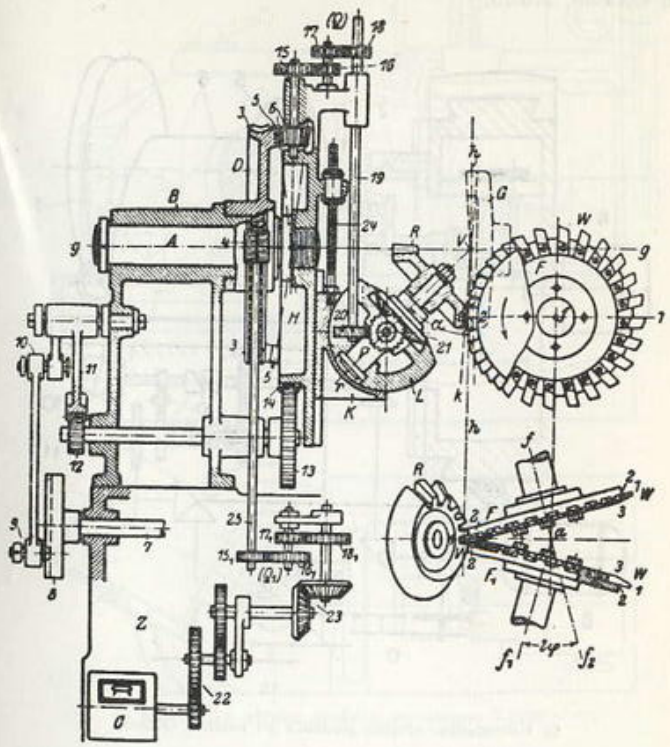


⑲ Način obrade odvalne blanjalice sistema Gleason

Najnoviji strojevi koji rade po tom sistemu imaju sposobnost obrade bačvastih (baličnih) zubi. To se postiže kretanjem klizača (nosača alata) u luku s jako velikim polumjerom. Zupčanici s bačvastim zubima nisu osjetljivi na točnost montaže, jer imaju dodir samo u sredini dužine zuba.

Kod odvalne glodalice za obradu stožnih zupčanika s ravnim zubima po Bealeu [Bole] služe kao alat dva glodala velikog promjera, smještena tako da istodobno obrađuju istu uzubinu ⑳. Tokom obrade ne izvodi se kretanje uzduž širine zuba i budući da su rezne oštrice na plaštu unutrašnjeg stošca, obrađivani zub u sredini nešto je dublje obrađen, a po dužini dobiva bačvast oblik. Alat je postavljen tako da čini zub zamišljenog planskog zupčanika (G sa zubima h) i izvodi samo radno kretanje. Izradak izvodi posmično kretanje, tj. odvalno i diobu. Odvalno kretanje sastoji se od rotacije nosača izratka oko

osi A, što se postiže kulisnim pogonom preko zupčanika (13 i 14), i rotacije obrađivanog zupčanika oko svoje osi pomoću odvalnih zupčanika (5, 6, Q, 20 i 21). Nakon obrade jedne uzubine diobeni uređaj (c) preko diobenih zupčanika (22, Q_1, 4 i 3) zakrene izradak za jednu podjelu i proces se ponavlja. Takvi strojevi su vrlo produktivni, a kao i kod svih ostalih strojeva za ozubljavanje, proces je automatiziran.

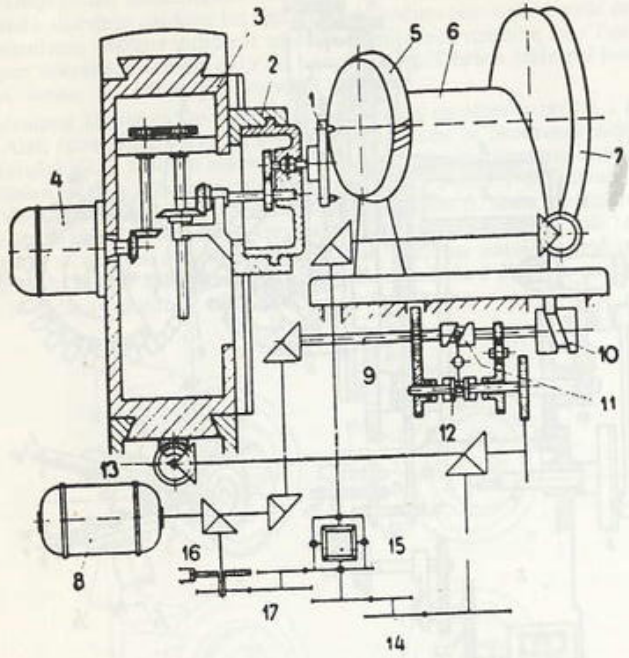


⑳ Kinematika odvalne glodalice po sistemu Beale

212.094.3 *Strojevi za obradu stožnih zupčanika sa zakrivljenim zubima*

Odvalna glodalica za stožne zupčanike s kružno zakrivljenim zubima, po sistemu Gleason, radi specijalnim glodalom lončastog oblika (noževi poredani u kružnom vijencu). Načelo rada vidi se na shemi na ㉑. Glodalo 1 dobiva pogon za radno kretanje preko niza zupčanika od motora 4. Osovina reznog kola uležištena je u kućištu 2, koje je smješteno ekscentrično u odvalnom bubnju 3. Ovaj dobiva rotaciju od motora 8 preko niza zupčanika, puža i pužnog kola 13. Na odvalnom bubnju može se zamisliti planski zupčanik kojemu je dio reznog kola jedan zub. Stoga su u čvrstom kinematskom odnosu, da bi se ostvarilo odvaljivanje, rotacija odvalnog bubnja 3 (planskog zupčanika) i izratka preko niza zupčanika (izmjenljivi odvalni zupčanici 14, diferencijal 15, puževi i pužna kola 13 i 7). Izradak se učvršćuje u vreteništa 6, koje se može zakrenuti tako da se zauzme potreban kut stošca zupčanika. Tokom zakreta odvalne glave i izratka rezna glava obrađuje jednu uzubinu. Nakon obrade jedne uzubine odmakne se vreteništa 6' kome pogon

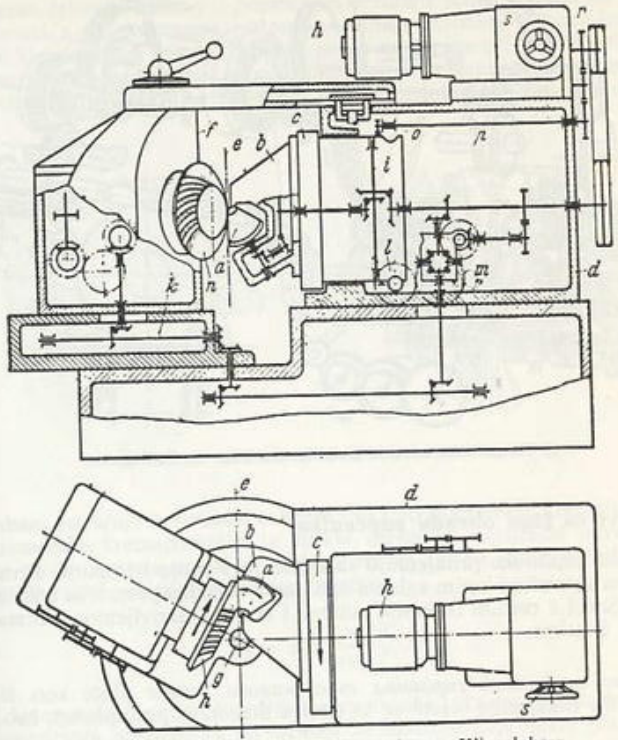
daje krivulja 10, a prekopčavanjem spojke 12 vraća se izradak 5 i odvalna glava 3 u početni položaj. Istodobno se uključuje mehanizam za dijeljenje 16 te preko izmjenljivih diobenih zupčanika 17 zakrene izradak dalje za jedan zub i proces se ponavlja. Pri obradi velikih zupčanika alat konačno obrađuje lijevi i desni bok zuba, dok se mali zupčanik obrađuje dva puta, i to posebno lijevi, a posebno desni bokovi zuba. Upotrebom lončaste profilirane brusne ploče umjesto rezne glave mogu se stožni zupčanici, obrađeni postupkom Gleason, brusiti.



㉑ Kinematika odvalne glodalice po sistemu Gleason

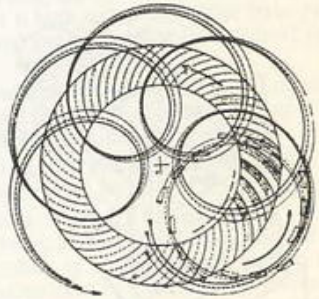
Odvalnom glodalicom za stožne zupčanike po postupku Klingelnberg obrađuju se zupčanici sa zakrivljenim zubima u obliku evolventa. Alat je odvalno glodalo stožnog oblika. Postupak je sličan odvalnom glodanju čeonih zupčanika. ㉒ prikazuje shemu kinematike glodalice Klingelnberg. Motor h daje preko niza zupčanika pogon odvalnom glodalu a. Rotacija izratka n je s rotacijom alata a u svrhu odvaljivanja u čvrstoj kinematskoj vezi preko niza zupčanika, diferencijalnog prijenosa m i izmjenljivih diobenih zupčanika. Osim svoje rotacije (radno kretanje) glodalo izvodi u svrhu posmika zakretanje odvalnom glavom c, kojoj daju pogon diferencijalni zupčanici, puž i pužna kola 1. Zakretanjem glave c regulira se preko zupčanika o i r kontinuirano prijenos pogonskog reduktora u svrhu osiguranja konstantne brzine rezanja jer u početku obrade režu zubi na većem promjeru glodala, a pri kraju obrade na manjem promjeru glodala. Svi zubi obrađuju se istodobno. Glodalo je duže od širine zubi zupčanika, a u početku obrade namješteno je tako da mu os tangira temeljni krug evolvente smjera zubi. Budući da se kut uspona zavojnice glodala mijenja s promjerom te bi se u toku obrade tangenta na zavojnicu glodala stalno poklapala s tangentom na evolventu smjera zubi zupčanika, glodalo je smješteno na nosaču b tako da se rotacijom glave c korigira smjer osi glodala.

Odvalnom glodalicom po postupku Oerlikon Spiromatic obrađuju se stožni zupčanici cikloidno zakrivljenim zubima (cikloidno, odnosno eloidno ozubljenje). Kao alat služi rezna glava s nekoliko skupina čeono postavljenih noževa. Ovi su u svakoj skupini smješteni u spirali. Prvi je od njih predrezač, drugi služi za obradu jednog boka, a treći za



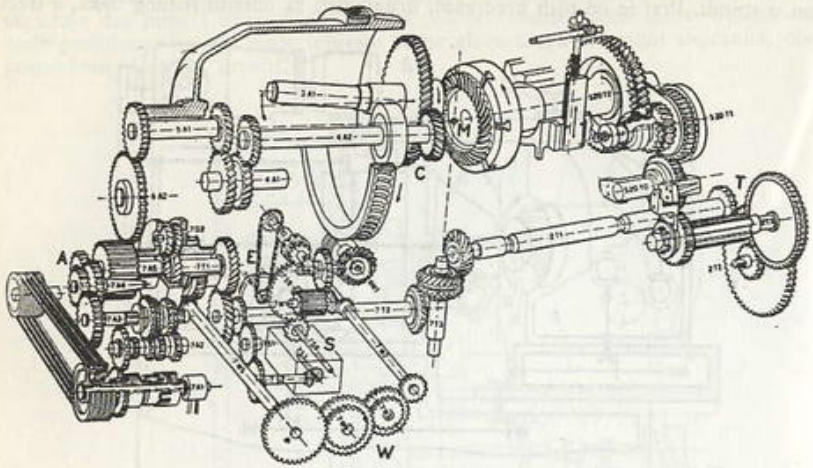
㉒ Kinematika odvalne glodalice po sistemu Klingelnberg

obradu drugog boka uzubine. Svi zubi izratka obrađuju se kontinuirano, a ta se obrada temelji na diobenom kretanju alata i izratka (kinematska veza između rotacije alata i izratka u zavisnosti od broja zubi i broja skupina alata) te na odvalnom kretanju alata s odvalnim bubnjem. Zbog rotacije rezne glave i dodatnog zakretanja s odvalnim bubnjem (ekscentrično smještena rezna glava) noževi opisuju produženu epicikloidu, od koje se jedan dio može shvatiti kao zub zamišljenog planskog zupčanika ㉓ s kojim u stvari izvodi odvaljivanje izradak. Budući da rezne oštrice noževa nisu na istim radijusima, opisane epicikloide imaju različite zakrivljenosti pa obrađeni zub dobiva povoljan bačvast oblik. Stroj je automatiziran, a obrada je završena kad odvalni bubanj izvrši stanovit zakret, tj. kad noževi rezne glave udu na punu dubinu obrade. ㉔ prikazuje kinematiku odvalne glodalice »Spiromatic«, na kojoj su izmjenljivi zupčanici T sa kojima se određuje diobeni prijenos, a izmjenljivim zupčanicima



㉓ Obrada odvalnom glodalicom po sistemu Oerlikon – Spiromatic

W korigira se prijenos preko diferencijala A—E zbog dodatnog odvalnog kretanja. M je izradak, a reznu glavu nosi osovina 3A1. S je posmičan prigon.



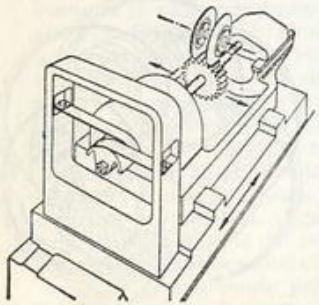
㉔ Kinematika odvalne glodalice Oerlikon — Spiromatic

212.095 Strojevi za finu obradu zupčanika

Za finu obradu zupčanika primjenjuju se brušenje, lepanje i brijanje. Brusiti se mogu čeoni zupčanici s ravnim i kosim zubima koji imaju dovoljan prostor za izlaz brusne ploče te stožni zupčanici s ravnim ili kosim zubima i kružno zakrivljenim zubima obrađenim po postupku Gleason.

212.095.1 *Strojevi za brušenje zupčanika* rade pomoću brusne ploče koja je profilirana sukladno profilu boka zuba (često se to naziva diobenim postupkom), kao i odvalnim postupkom.

Strojevi za obradu brusnom pločom koja je profilirana sukladno profilu zuba i pojedinačnim dijeljenjem relativno su jednostavni i slični brusilicama s horizontalnim brusnim vretenom i uzdužnim stolom. Brusna ploča profilirana je za obradu oba boka uzubine odjednom ili za brušenje samo jedne strane svih zubi zupčanika pa nakon toga druge strane svih zubi. Točnost te obrade bitno zavisi od uređaja za profiliranje brusne ploče, kao i od diobenog aparata za izvršenje podjele.

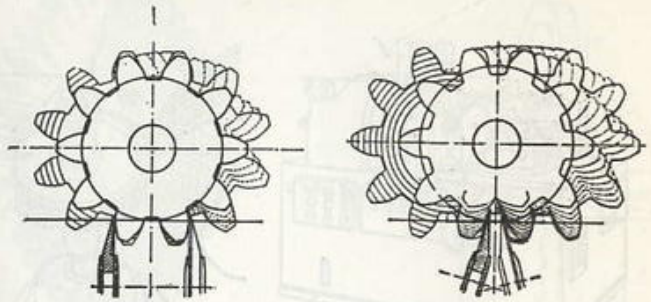


㉕ Odvalna brusilica sistema Maag

Mnogo točnija obrada postiže se odvalnim postupkom. Prema načinu dijeljenja pri odvalnom brušenju proces može teći pojedinačnom obradom boka zubi, tj. sukcesivnim dijeljenjem ili obradom uz stalno diobeno kretanje.

Odvalna brusilica po sistemu Maag radi pojedinačnom obradom boka zubi. Alat se sastoji od dviju brusnih ploča tanjurasta oblika, a za brušenje služi samo vanjski brid na konkavnoj strani brusne ploče. Stoga nema značajnijeg zagrijavanja pa nije potrebno ni posebno hlađenje. Brusne ploče izvode samo rotacijsko radno kretanje pri normalnoj izvedbi,

dok pri izvedbi za jako velike zupčanike izvode i posmik. Izradak je upet na osovinu na čijem se produžetku nalazi odvalni bubanj ㉕. Ovaj je spregnut tankim čeličnim trakama (debljine 0,2 do 0,3 mm), čiji drugi kraj je vezan u fiksnom okviru. Suport koji nosi osovinu s izratkom izvodi poprečno translatorno kretanje. Kako je odvalni bubanj spregnut preko čeličnih traka, pri poprečnom kretanju trake zakreću taj bubanj (jedna se traka odmata, a druga namata), odnosno osovinu s izratkom. Odvalni bubanj ima promjer jednak kinematskom promjeru obrađivanog zupčanika pri obradi s nagnutim brusnim pločama tako da tvore profil zuba zubne letve ili je promjer jednak temeljnom promjeru pri obradi s paralelno namještenim brusnim pločama. Kroz tako dimenzionirani



㉖ Obrada na odvalnoj brusilici sistema Maag

odvalni bubanj ostvaruje se pomoću čeličnih traka pri poprečnom kretanju suporta superponirano rotacijsko kretanje, kojim je upravo ostvarena mehanički odvalna kinematika ㉖. Brusne ploče nagnute su uvijek pod kutom od 15° pa je pri obradi zupčanika čiji je zahvatni kut 20° promjer odvalnog bubnja:

$$d_w = d_0 \cdot \frac{\cos 20°}{\cos 15°}.$$

(Tu je d_0 kinematski promjer obrađivanog zupčanika.) Razmak brusnih ploča pri paralelnom namještanju određuje se po formuli za izračunavanje mjere preko zubi. Suport s izratkom smješten je na saonicama za uzdužno, tj. posmično kretanje. Nakon svakog dvostrukog posmičnog hoda diobeni uređaj koji spaja osovinu zupčanika s osovinom odvalnog bubnja zakrene izradak za jednu podjelu. Točnost položaja brusnih ploča zbog trošenja održava poseban servo-mehanizam upravljan specijalnim mikroticalom.

Zupčanici s kosim zubima obrađuju se na brusilici Maag tako da se brusne ploče sa svojim nosačem zakrenu za kut uspona kosine β, a okvir u kom su upete čelične trake pri uzdužnom hodu posmičnih saonica dobiva poprečan hod preko vodilice u zavisnosti od kuta β.

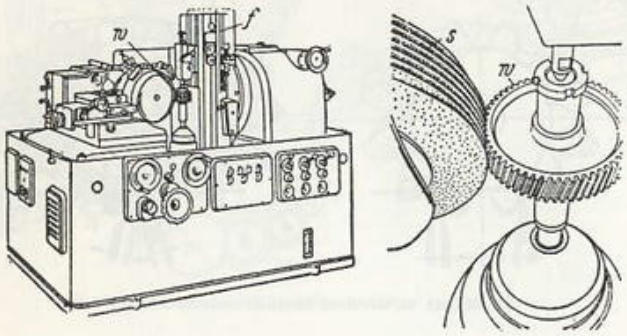
Pri obradi s nagnutim brusnim pločama u zavisnosti od brzine posmika može se dobiti izgled boka zubi s križnim tragovima. Takvo brušenje daje visoku točnost. Pri obradi s paralelnim brusnim pločama dužina odvaljivanja je kraća i postupak je brži.

Isti princip i mehanizam odvaljivanja ima i brusilica Hahn & Kolb, jedino što kod nje kao alat služi jedna brusna ploča profilirana kao zub zubne letve.

Brusilica Niles, za odvalno brušenje čeonih zupčanika s ravnim i kosim zubima, ima kao alat brusnu ploču profiliranu u obliku zuba zubne letve, koja ujedno izvodi posmično kretanje. Nosač alata jednako je izveden kao kod blanjalice za obradu čeonih zupčanika Maag. Izradak je upet na rotacionom stolu, koji ujedno izvodi uzdužno translatorno posmično kretanje. Kinematska veza između ta dva kretanja postiže se izmjenljivim odvalnim zupčanicima. Pri posmičnom hodu izratka u prvom smjeru obrađuje se jedan bok

uzubine, a pri povratnom hodu obrađuje se drugi bok uzubine. To se postiže posebno namještenom zračnošću u aksijalnom ležaju vretena za pogon translatornog kretanja. Nakon jednog dvostrukog poprečnog hoda uređaj za dijeljenje zakrene izradak za jednu podjelu.

Brusilica sistema Reishauer ㉗ izvodi odvalno brušenje čeonih zupčanika ravnim i kosim zubima uz kontinuirano diobeno kretanje. Rad te brusilice potpuno je analogan radu odvalne glodalice, samo što u ovom slučaju kao alat služi brusna ploča velikog promjera profilirana u obliku jednovojnog puža. Kinematska veza rotacije izratka i alata postiže se putem izmjenljivih diobenih zupčanika, a pri obradi kosih zubi korektivno kretanje



㉗ Odvalna brusilica sistema Reishauer

postiže se preko izmjenljivih diferencijalnih zupčanika. Podešavanje prema kutu uspona brusne ploče, odnosno kutu uspona brusne ploče i kosine zuba kosog ozubljenja izvodi se zakretanjem glave s nosačem izratka. Posmično kretanje izvodi izradak s posmičnim saonicama. Nakon završenih grubih i finih prebrušavanja otpušta se kinematska veza tako da brusna ploča sama vodi izradak, koji se sada slobodno može zakretati na centrirnim šiljcima, i ostavlja se tako kratko vrijeme u pogonu. Tim se postiže stanovito izbrušavanje, koje daje zupčaniku bolje karakteristike u pogonu. Odlika sistema odvalnog brušenja s kontinuiranom diobom je visoka proizvodnost i točnost izradaka.

212.095.2 *Lepanje zupčanika*

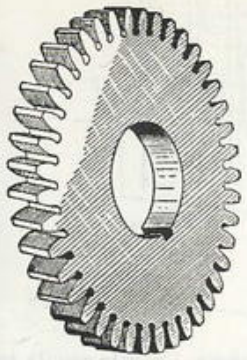
Lepanje se primjenjuje kao jednostavan postupak za dotjerivanje zupčanika, posebno stožnih. To se provodi na jednostavnim strojevima sa dva radna vretena, na koja se montira par zupčanika, koji će kasnije raditi zajedno. Jedan od obrađivanih zupčanika dobiva pogon te naizmjeničnom rotacijom, smjer lijevo-desno, daje pogon drugome, koji je električki kočen. Među zube obrađivanih zupčanika tokom obrade dovodi se sredstvo za lepanje.

Lepanjem se mogu bolje ispravljati greške ozubljenja ako se kao jedan od obrađivanih zupčanika zamijeni posebno točnim zupčanikom, tzv. »majstorskim« zupčanikom.

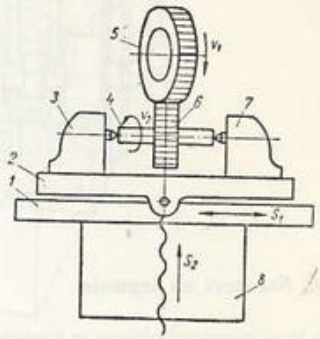
212.095.3 *Brijanje zupčanika*

Brijanje (shaving) zupčanika je proces fine obrade nekaljenih, odnosno termički obrađenih zupčanika do tvrdoće kad je još moguća obrada rezanjem. Proces je vrlo brz i često se primjenjuje u masovnoj izradi, npr. zupčanika za automobilski mjenjač. Kao alat služi specijalan zupčanik ㉘ s kosim zubima, koji po svojim bokovima imaju vertikalne uske žljebiće. Ivice tih žljebića su oštre i djeluju kao rezne oštrice. Izradak se alatom

zbog neparalelnosti osi (kut među osima je 10 do 20°) odvaljuje kao vijčani zupčanik tj. ima bočno klizanje duž boka zuba. Ta brzina klizanja u procesu brijanja zupčanika služi kao rezno kretanje. Stroj za taj proces relativno je jednostavan ㉙. Alat se upinje na vreteno u zakretnoj glavi i dobiva rotacijsko kretanje. Izradak je smješten na stolu i slobodno se može okretati (pogon mu daje alat). Posmično uzdužno kretanje, kao i primicanje izratka alatu izvodi stol. Taj postupak omogućava i lako postizanje bačvastog oblika (baličnosti) uređajem za njihanje stola.



㉘ Alat za dotjerivanje ozubljenja brijanjem



㉙ Princip rada stroja za obradu brijanjem

212.10 STROJEVI ZAVRŠNE OBRADE POVRŠINE

Pri završnim obradama na izracima obično se postavljaju zahtjevi na kvalitetu površine izratka, a da se pri tome ne postavlja poseban zahtjev na točnost mjera, ili se traži i održavanje visokih zahtjeva s obzirom na točnost mjera i oblika.

Prvi zahtjev, gdje se traže samo glatke i sjajne površine bez zahtjeva u pogledu točnosti površine, ispunjava se strojevima za poliranje i gla đenje.

Drugi zahtjev, gdje se uz glatku površinu traži i ispunjavanje određenih zahtjeva s obzirom na mjere ili na točnost oblika, ispunjavamo strojevima za lepanje, honanje, fino tokarenje i fino bušenje.

212.101 Polirke su strojevi kojima površini predmeta dajemo visok sjaj (glatkoću), ali ne postavljamo zahtjeve u pogledu točnosti mjera i oblika.

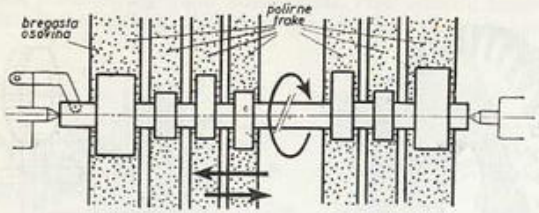
Primjenjuju se u masovnoj proizvodnji kao specijalni strojevi i automati, ali i mnogo kao strojevi s ručnim radom. Postoje dvije glavne vrste polirki: s kružnim pločama i s beskrajnim trakama.

Polirke s kružnim pločama izvedene su slično kao ručne brusilice, samo umjesto brusne ploče od abraziva ovdje rotira ploča za poliranje od tekstila, koja može biti i lončastog oblika. Obod ploče namaže se pastom za poliranje (ovisno o materijalu izratka) pa se pritiskom izratka na ploču postiže visok sjaj površine.

Budući da je ploča od tekstila, potrebni su snažni usisni uređaji da čestice tekstila, paste za poliranje i eventualno materijala izratka ne bi izazvale oboljenje radnika i opasnost od vatre.

Polirke s beskonačnim trakama upotrebljavaju se osobito za poliranje cilindričnih, fazonskih i ravnih površina.

Prednost polirki s trakom je mogućnost ravnomjernog poliranja krivih, teško dostupnih dijelova površine; lakše je mehanizirati rad, a moguća je istodobna obrada nekoliko površina različitih oblika. Na primjer, u operaciji poliranja bregaste osovine automobilskog motora istodobno se polira 13 bregova i 4 ležajna rukavca ①.

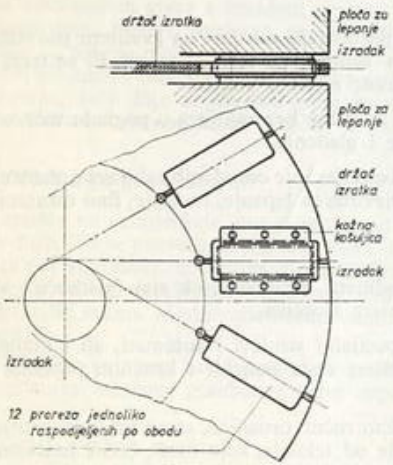


① Shema poliranja bregaste osovine

212.102 Strojevi za lepanje

Tim strojevima poboljšava se kvaliteta površine, glatkoća, i postiže najviša točnost mjera (do IT 2 i IT 1), ali ne i oblika. Primjenjuju se u masovnoj proizvodnji kao specijalni strojevi za lepanje, prilagođeni za određeni oblik izratka, npr. za lepanje osovinica za klipove, kuglica, graničnih mjerki itd.

Među dvije ravne ploče od sitnozrnatog liva međusobno paralelne, koje se gibaju jedna prema drugoj kružno ili pravocrtno, umeću se izraci i dodaje se sredstvo za lepanje ②. Sastavljeno je od krute faze (prah elektrokorunda, silicijeva karbida i sl.) i tekućine (petrolej, ulje). Prisilnim održavanjem određenog položaja među pločama izradak se okreće i kliže te na taj način lepa.



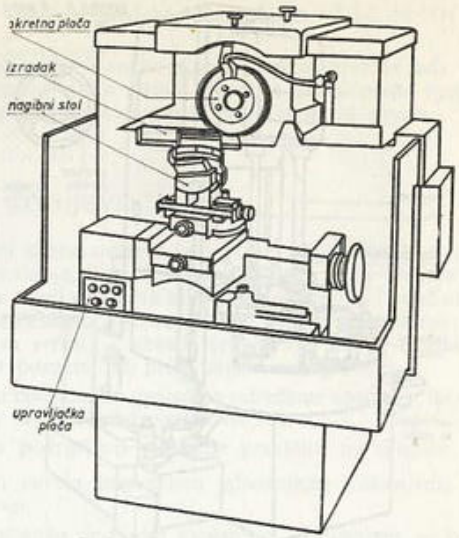
② Prikaz lepanja osovinica za cilindre

Kod osobitih zahtjeva s obzirom na točnost mjera lepanje se provodi na dvije operacije na dva stroja. Na taj način dadu se besprijekorno lepati vanjske kuglaste, cilindrične i ravne površine.

Lepati se mogu i provrti posebnim strojem za unutarnje lepanje, koji rade s podesivim trnom kao alatom.

Pri lepanju metala niže tvrdoće može se uz sivi liv upotrebljavati i mekaniji materijal, na primjer kositar.

U novije vrijeme primjenjuje se pri konačnoj obradi brušenja reznih površina alata postupak lepanja. Kod takvih strojeva je prah elektrokorunda, silicijeva karbida ili dijamanta nanesen na površinu metalne ploče koja se okreće. Pri tome os okretanja ploče oscilira u horizontalnoj ravnini amo-tamo i tako omogućava lepanje alata od tvrdih metala. Ovdje se tokom procesa lepanja izdašno dodaje samo tekuća faza. ③ prikazuje izvedbu takvog stroja za brušenje — lepanje reznih alata.

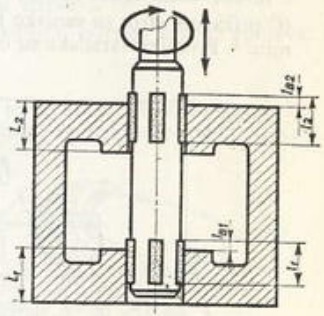


③ Stroj za lepanje rezanog alata

212.103 Strojevi za honanje

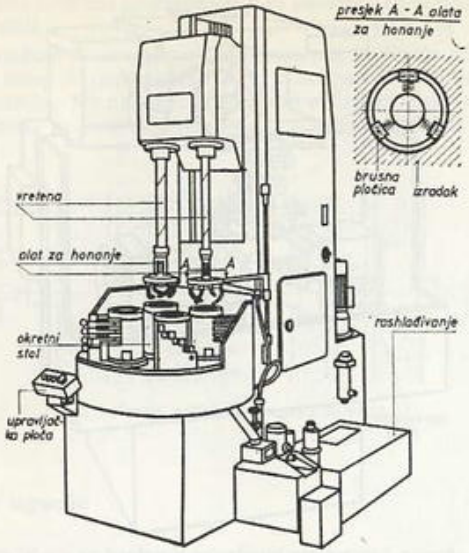
Tim strojevima poboljšava se kvaliteta površine i postiže visoka točnost mjera (IT 3), no ne toliko i oblika. Primjenjuju se u serijskoj proizvodnji kao specijalni strojevi za honanje, prilagođeni za određenu veličinu provrta. Donedavna su pod tim nazivom bili poznati samo strojevi za unutrašnje honanje (provrta), a u novije vrijeme razvijen je postupak sličan honanju i za vanjske površine (osovine) pod raznim imenima: mikrofiniš, superfiniš itd.

Alat za honanje ④, sličan je podesivu razvrtaču, samo mjesto rezne oštrice ima brusnu pločicu od elektrokorunda ili silicijeva karbida. Alat rotira određenom brzinom od 30 do 1 000 okr./min pa tom prilikom izvodi aksijalni hod gore-dolje, okomito na utore od tokarenja prethodne obrade. Uz taj normalan hod alata dolazi pri finim honanjima još i dodatno kratkohodno osciliranje gore-dolje, da bi se postigla još bolja kvaliteta površine i smanjilo vrijeme obrade uslijed većeg učina skidanja materijala. Brusne pločice nisu kruto pričvršćene u sklopu alata, već mekano. Time se postiže visoka točnost pri obradi. Strojevi za unutrašnje honanje, izvode se i kao viševreteni vertikalni, hoda vretena do 650 mm, brzine vertikalnog hoda 3—15 m/min, sa snagom glavnog motora preko 10 kW.



④ Istodobno honanje dvaju otvora jednim trnom sa dva reda brusnih pločica (l_1 i l_2 — dužine brusnih pločica, l_{B_1} i l_{B_2} — visine izlaza bruseva iz otvora, L_1 i L_2 — dubine otvora) Treba zadovoljiti odnose l ($L \leq 3/4$ i $l_B = 1/3\,l$

⑤ prikazuje dvovreteni stroj za honanje klipnjača s okretnim stolom. Dok se izvodi operacija obrade na dva niza klipnjača, poslužilac skida s druge dvije stezne naprave već obrađene i umeće nove. Pritiskom na dugme na upravljačkoj ploči stol se zakreće za 180° i počinje nova operacija. Postoje i potpuno automatske izvedbe tih strojeva.

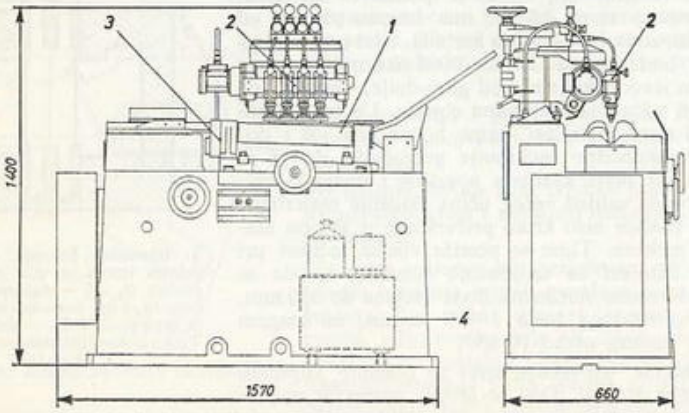


⑤ Vertikalni dvovreteni stroj za unutarnje honanje

Strojevi za finiš izvode se kao specijalni strojevi, a izvedeni su tako da izradak ili više njih budu stegnuti horizontalno među šiljke ili na posebne trnove.

Pri tome izradak rotira, a specijalna pneumatska glava za honanje nosi brusnu pločicu i izvodi oscilirajuće gibanje amo-tamo u aksijalnom smjeru izratka.

⑥ prikazuje stroj za vanjsko honanje, snage motora 1,4 kW, broj oscilacija 2 000 – 2 800 min^{-1}. Promjeri izradaka su od 5,5 do 70 mm – cilindričnog oblika, radni pritisak zraka



⑥ Stroj za vanjsko honanje cilindričnih površina (superfiniš) (1 – izradak, 2 – pneumatska oscilirajuća glava za honanje sa 4 brusne pločice, 3 – stega za izradak, 4 – uređaj za pumpanje i filtriranje sredstva za ispiranje)

4 at predtlaka, broj okretaja izradaka kontinuirano od 34 do 204 min^{-1}, posmak 0,11 do 1,8 m/min.

Kod strojeva za honanje vrlo je važno ispiranje tokom procesa rada. Sredstvo za ispiranje dovodi se i ubrizgava na radno mjesto. S njega odlazi preko magneta i finog filtra u rezervoar. Odavde se ponovno pumpom šalje u radni proces.

212.11 SPECIJALNI STROJEVI

Dosad smo razmatrali alatne strojeve koji su pripadali jednoj vrsti s obzirom na način obrade; tokarenje, glodanje, bušenje, brušenje itd., ali je njihova karakteristika bila i u tome što su obradu mogli provoditi bilo na kojem obliku i veličini izratka koji je odgovarao radnim karakteristikama stroja. Točnije bi bilo da kažemo: oni nisu bili namijenjeni samo za jednu svrhu – obradu jednog određenog izratka, čije su dimenzije, oblik i materijal bile poznate već prije izrade samog stroja.

Alatni strojevi koji su izvedeni unaprijed za određenu operaciju na određenom području veličine izratka zovu se specijalni alatni strojevi.

Njih možemo prema područjima primjene podijeliti na skupine specijalnih strojeva:

- strojevi za izradu navoja tokarenjem, glodanjem, ljuštenjem, brušenjem, pomoću nareznica i ureznica
- izrada čeonih zupčanika profilnim glodanjem, blanjanjem – kotrljanjem (postupak Maag alatom-češljem), odvalno glodanje (pužnim glodalom), odvalnim dubljenjem, brušenjem, strojevi za završnu obradu zupčanika
- izrada stožastih zupčanika raznim postupcima
- izrada puževa i pužnih kola.

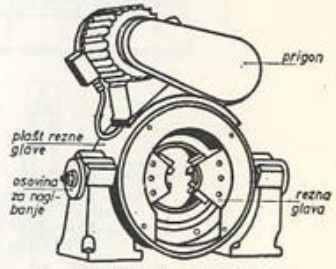
Ako na bazi nekog već postojećeg konvencionalnog alatnog stroja, dodavanjem posebnih uređaja i pribora, izvedemo novi stroj, namijenjen i osposobljen samo za jednu svrhu, onda takav stroj zovemo specijalizirani alatni stroj. Takvi strojevi obuhvaćaju, uz neka druga područja, i prije spomenuta područja specijalnih strojeva.

Specijalne strojeve spomenuli smo gotovo potpuno u pojedinim vrstama alatnih strojeva. Ovdje ćemo detaljnije razmotriti:

212.111 Specijalni stroj za ljuštenje navoja. Izrađen je na bazi tokarilice, samo što uz normalan suport ima još uređaj za ljuštenje navoja. Koji put ima samo uređaj za ljuštenje, dok se vreteno s kojeg će se navoj »ljuštiti« prethodno obradi na tokarilici.

Uređaj za ljuštenje navoja ① radi s reznom glavom, koja je opremljena sa jednim, četiri, šest ili više noževa od tvrdog metala. Ta rezna glava okreće se brzinom od kojih 300 m/min i pri tome se kreće uzdužno po vodilicama (uzdužni posmik). Izradak stegnut u steznu glavu (kraći) ili među šiljke okreće se brzinom od otprilike 0,5 m/min (kružni posmak).

U jednom prolazu postiže se puna dubina i fina kvaliteta površine, a profili navoja (šiljati, trapezni, pilasti itd.) i broj početaka (viševojni) ne igraju pri tome nikakvu ulogu.

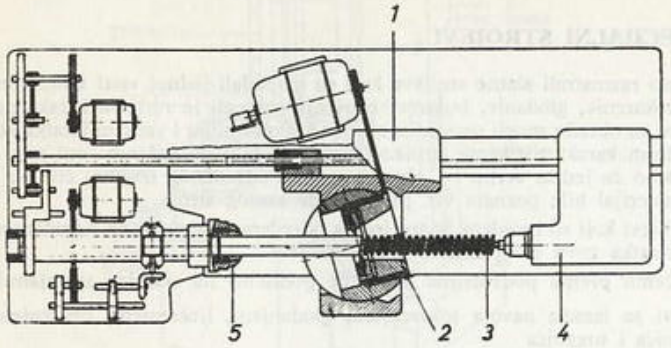


① Uređaj za ljuštenje navoja

Postoji niz uređaja za ljuštenje navoja koji mogu obrađivati vretena od najmanjih promjera pa do ⌀ 500 mm. Snaga je elektro-motora od 2 do 12 kW, broj okretaja glave je od 90 do 2 400 u minuti.

Vrlo često se takvi uređaji za ljuštenje pričvršćuju na već postojeće tokarilice, koje su time specijalizirane za izradu navojnih vretena. ② prikazuje shemu prigona stroja za ljuštenje navoja.

Prilikom promjene profila navoja mijenjaju se noževi i uzimaju oni odgovarajućeg profila, a uspon i promjer navoja podešavaju se na samom uređaju promjenom nagiba rezne glave prema vretenu, odnosno primicanjem i odmicanjem reznih noževa.

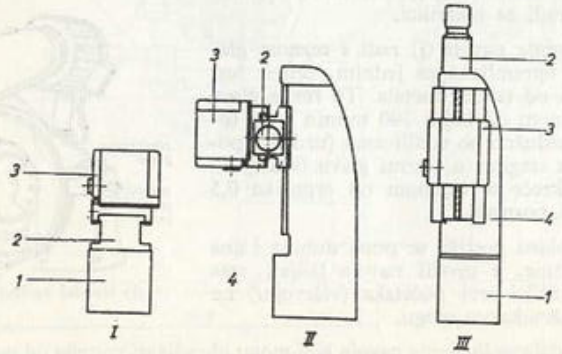


② Shema prigona stroja za ljuštenje navoja (1 — suport, 2 — glava za ljuštenje navoja, 3 — izradak, 4 — konjić, 5 — stezna glava izratka)

212.112 Ugradbene jedinice, agregatni strojevi, transfer-staze

Projektiranje i izrada specijalnog stroja za svaki zahtjev traži značajan utrošak vremena i sredstava. Unoseći izmjene u konstrukciju komada koji se obrađuju na takvim strojevima ili pri zamjeni proizvodnje takvi se specijalni strojevi ne mogu više upotrebljavati u procesu proizvodnje pa bi ih trebalo odbaciti.

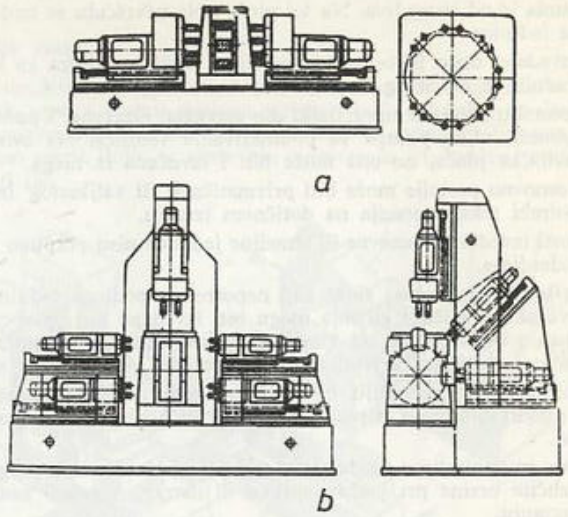
Da bi se skratilo vrijeme potrebno za projektiranje i izradu specijaliziranih strojeva, smanjili i troškovi i osigurala mogućnost iskorištavanja osnovnih sklopova strojeva u slučaju izmjene konstrukcije obrađivanog komada ili objekta proizvodnje, često se primjenjuje metoda projektiranja i izrade na bazi standardizacije sklopova ugradbenih jedinica. Ta metoda, čiji je rezultat stroj sastavljen od standardiziranih jedinica, zove se metoda agregatiranja strojeva, a takav stroj — agregatni stroj.



③ Osnovni oblici ugradbenih jedinica I, II, III (1 — osnovne jedinice postolja, 2 — jedinice za gibanje, 3 — jedinice za obradu, 4 — stalci)

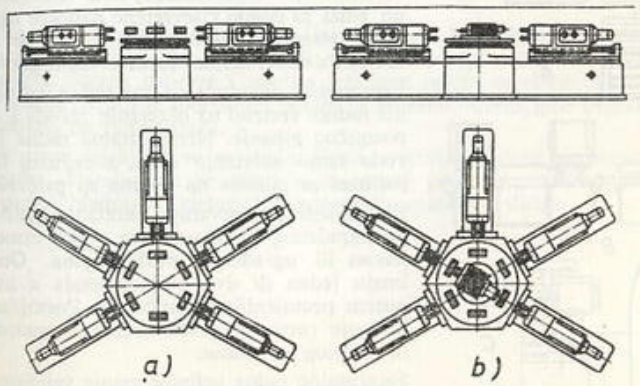
Najprije je taj princip agregatiranja bio iskorišten, pa i danas se još najčešće primjenjuje pri projektiranju strojeva za obradu provrta (rupa).

Agregatni strojevi i njihove sastavne jedinice izvode se u više veličina, za različite operacije obrade, pa i cijelog procesa izrade jednog komada. Sastavne jedinice možemo podijeliti



④ Agregatni strojevi s vertikalnim kružnim hodom izradaka (a — dvostrana obrada s horizontalnim jedinicama, b — trostrana obrada s horizontalnim, kosim i vertikalnim jedinicama)

na osnovne jedinice ili postolja, jedinice za gibanje i jedinice za obradu ③. Iz tih jedinica, koje ćemo detaljnije razmotriti, moguće je u bezbroj kombinacija sastaviti proizvodna sredstva za specijalnu izradu, za određeni oblik i za dimenziju. ④ i ⑤ prikazuju primjere izvedbe s kretanjem izratka, jednom po vertikali (bubanj), a drugi put u horizontali — kružni stol.



⑤ Agregatni strojevi s horizontalnim kružnim hodom izradaka (a — neliko horizontalnih jedinica izvana, b — nekoliko horizontalnih jedinica izvana, jedna iznutra [crno obojena])

Budući da se radi o tipiziranim jedinicama, one se mogu radi standardizacije ovisnih dimenzija međusobno relativno lako povezivati.

Osnovno ili **temeljno postolje** služi za to da omogući namještanje ostalih jedinica i izratka u međusobno traženi položaj. Za male veličine jedinica može kao osnovno postolje služiti zavarena ili vijcima spojena konstrukcija od profilnog čelika s bočnom oplatom od lima, a ploča stola je od sivog liva. Na toj ploči stola učvršćuju se onda prema potrebi male posmične jedinice.

Kod velikih izvedaba često je osnovno postolje i nosilac vodilica za klizne posmične jedinice, a izrađuje se od sivog liva.

U osnovnom postolju nalazi se upravljački dio agregata, rezervoar i pumpa za rashladno sredstvo pri obradi, uljna pumpa za podmazivanje vodilica. Na osnovnom postolju nalazi se upravljačka ploča, no ona može biti i izvučena iz njega.

Prema obliku osnovno postolje može biti prizmatičnog ili valjkastog izgleda, kombinirano prema potrebi toka operacija na dotičnom izratku.

Zbog raznolikosti izvedbi te osnovne ili temeljne jedinice nisu potpuno obuhvaćene nacionalnim standardima.

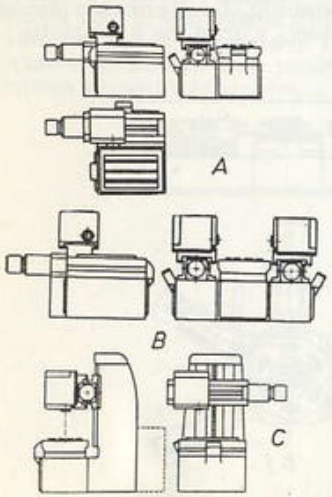
Jedinice za gibanje (pomične) služe kao neposredna podloga radnim jedinicama ili steznim napravama. Po načinu gibanja mogu biti izvedene kao pravocrtne ili okretne. Pravocrtno gibanje ostvaruje se od vlastitog elektro-motora, mehanički preko međuprigona vretenom i maticom, krivuljom ili hidraulički — cilindrom s klipom.

Okretno gibanje jedinice ostvaruju mehanički putem pužnog prijenosa, pneumatski ili hidraulički putem cilindra s klipom i mehaničkim prijenosom — polugom, ozubljenim parom i sl.

Te jedinice često su opremljene uređajem za upravljanje koji prema programu i položaju ukopčavaju različite brzine pri hodu naprijed ili natrag, odnosno zauzimaju određen položaj pri okretanju.

Gibanje mehanički preko krivulje najčešće se primjenjuje kod malih jedinica zbog ograničene visine krivulje.

Jedinice pravocrtnog gibanja obično služe kao podloga radnim jedinicama, a okretne kao podloga steznim napravama za izradak.



⑥ Neki oblici izvedaba s ravnim stolom

Radne jedinice nosači su alata i ostvaruju obradu bušenja, rezanja navoja, istokarivanja, glodanja itd. One mogu biti izvedene kao samostalne ili nesamostalne, kao jednovretene ili viševretene. Kod jednovretenih alat nosi vreteno, kod viševretenih vreteno služi za pogon viševretene naprave montirane na čeonu stranu radne jedinice. Izvode se i radne jedinice i s viševretenom revolverskom glavom za alat.

Samostalno djelujuće su one radne jedinice kod kojih radno vreteno uz okretanje izvodi i pravocrtno posmično gibanje. Nesamostalne radne jedinice izvode samo okretanje alata, a uzdužni hod obavlja jedinica za gibanje na kojima su pričvršćene.

Radna jedinica ostvaruje okretanje radnog vretena od ugrađenog elektro-motora preko remenskog prijenosa ili ugrađenog međuprigona. One najčešće imaju jedan ili dva broja okretaja a mijenjaju ih putem promjenljivih zupčanika. Posmično uzdužno kretanje ostvaruju preko vretena i matice, krivulje ili pužnog prijenosa.

Samostalne radne jedinice manje veličine mogu biti potpuno pneumatske ili kombinirane, elektropneumatske.

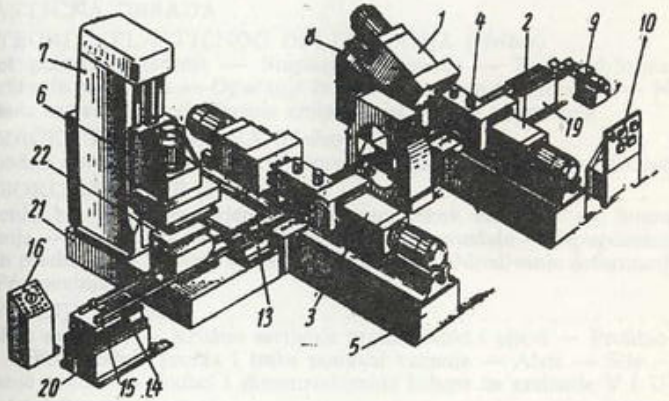
Veće radne jedinice izvode se kao elektrohidrauličnе — okretanje radnog vretena izvodi se elektro-motorom preko prijenosa, a posmak hidraulički.

Neke primjere agregatnih strojeva za glodanje prikazuje ⑥.

Jedinice za gibanje i radne jedinice obuhvaćene su nacionalnim standardima[1], koji obuhvaćaju osnovne priključne mjere i nužne karakteristike režima rada itd.

212.113 Transfer staze

Povežemo li određen broj ugradbenih jedinica prema procesu rada u radnu stazu po kojoj se izradak, upet u steznu napravu, prisilno kreće od jedne do druge jedinice, dobivamo tzv. proizvodnu stazu ili, poznatije, transfer-stazu. Proizvodna staza može biti otvorena, tj. kao ravna linija, a može biti i zatvorena, tj. kružna, pravokutnik ili neki drugi zatvoreni lik.



⑦ Proizvodna staza, linijskog tipa (1, 2 i 3 — samostalne radne jedinice, 4 — stezni cilindar, 5, 19, 20 i 21 — postolja, 6 — nesamostalna radna jedinica, 7 — stup, 8 — kosina, 9 — prigon konvejera za transport strugotine, 10 — hidraulički uređaj, 13 — okretni stol izratka, 14 i 15 — transportni uređaj, 16 — upravljačka ploča, 22 — radna naprava)

Na ⑦ vidimo primjer proizvodne staze linijskog tipa. Izradak se kreće po toj stazi stalnom radnom brzinom — kontinuirano ili u određenim taktovima od jednog do drugog radnog mjesta. Stezna naprava s upetim izratkom nakon završene obrade oslobađa se gotovog komada i vraća se sporednim putem na polazno mjesto, gdje prihvaća novi sirovi komad i odlazi na radnu stazu.

Proizvodne staze najskuplji su specijalni alatni strojevi, podešeni za proces obrade određenog izratka. Primjenjuju se samo u masovnoj proizvodnji automobilskih motora, elektro-motora, hladnjaka, električnih kućanskih aparata i slično.

[1] Kod nas još nije donesen JUS o ugradbenim jedinicama.

HRIBAR dr Josip, dipl. inženjer strojarstva
POVRZANOVIĆ mr. Aleksander, dipl. inženjer strojarstva
MULC mr. Andrija, dipl. inženjer strojarstva

PLASTIČNO OBLIKOVANJE

22 PLASTIČNA OBRADA 646

22.1 IZ TEORIJE PLASTIČNOG OBLIKOVANJA (*Hribar*) 646
Uvjet plastičnog tečenja — Stupanj deformacije — Brzina deformacije — Očvršćenje materijala — Opadanje čvrstoće porastom temperature — Nekoliko formula za računsko određivanje deformacijskih sila i naprezanja

22.2 KOVAČKA PROIZVODNJA (*Hribar, Mulc*) 651
Slobodno kovanje — Kovanje u ukovnju — Kovački strojevi — Kovačke peći

22.3 DUBOKO VUČENJE (*Hribar*) 674
Vučenje bez stanjenja stijenke — Kaczmarekov dijagram — Stupnjevanje vučenja — Skice alata — Određivanje promjera rondele — Ispupčavanje izvučenih predmeta — Vučenje stanjenjem stijenke — Određivanje deformacijske sile — Proizvodnja danaca

22.4 SAVIJANJE (*Hribar*) 683
Kružno savijanje — Kružno savijanje profila, šipki i cijevi — Profilno savijanje — Proizvodnja profila i traka pomoću valjanja — Alati — Sile — Kalibriranje profila — Podaci i dimenzioniranje kalupa za savijanje V i U profila

22.5 PROVLAČENJE (*Hribar*) 692
Upotreba — Provlačenje šipkastog materijala punog presjeka — Provlačenje šupljih profila — Očvršćenje i otvrdnuće materijala pri hladnom provlačenju — Izbor maziva — Programiranje — Oblikovanje i materijal provlačnih matrica — Strojevi za provlačenje

22.6 POSTUPCI HLADNOG OBLIKOVANJA (*Hribar, Povrzanović*) 700
Hladno sabijanje ili prešanje — Hladno duboko utiskivanje — Površinsko valjanje — Pečatanje — Utiskivanje navoja i ozubljenja

22.7 PROIZVODNJA ŠIPKASTOG POLUFABRIKATA POMOĆU EKSTRUZIJE (*Hribar*) 709
Materijal trupca — Temperatura i brzina isprešavanja — Prognječenost materijala — Sile isprešavanja — Oblikovanje i materijal matrica — Ekstruzivne preše — Peći za zagrijavanje trupaca

22.8 VALJANJE (*Povrzanović*) 714
Termička obrada — Valjaonice — Sistemi valjaka valjačkog stroja — Valjački strojevi — Valjani čelični proizvodi

Literatura

Bruchanow A. N. — Rebelski A. W.: Gesenkschmieden und Warmpressen. VEB Verlag Technik, Berlin 1955.

Gube G.: Schmiedehämmer, VEB Verlag Technik, Berlin 1960.

Hinman C. W.: Pressworking of Metals, McGraw Hill Co, New York 1950.

Hutte: Taschenbuch für Eisenhüttenleute, 5. izdanje, Berlin 1961.

Lange K.: Gesenkschmieden von Stahl, Springer Verlag, Berlin 1958.

Musafia B.: Obrada metala plastičnom deformacijom, Univerzitet Sarajevo 1966.

Oehler-Kaiser: Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge. Springer Verlag, Berlin 1957.

Ohrimenko J. M.: Tehnologija kuznečno štampovočnovo proizvodstva, Mašinostroenie, Moskva 1966.

Perlin J. L.: Teorija voločenja, Moskva 1957.

Pešić A.: Konstruisanje otkovaka i alata za kovanje u kalupima, Sarajevo 1955.

Romanovski W. R.: Handbuch d. Stanzereitechnik, VEB Verlag Technik, Berlin 1959.

Tehnologičeskij spravočnik po kovke i objemnoj štampovke, Mašgiz, Moskva 1959.

OZNAKE:

Indeksi	$_0$	početni	
	$_1$	završni, konačni	
	$_a$	izlaz	
	$_b$	ulaz	
	$_{gr}$	gravura	
	$_k$	kalup	
	$_{sr}$	srednji	
	$_{max}$	maksimalno	
	$_r$	radijalni	
	$_t$	tlačni, tangencijalni	
	$_u$	unutarnji	
	$_v$	vanjski	
	$_ž$	žig	
	$_M$	matrica	
a		razmak centra valjaka	mm
A		površina, presjek	mm²
A_h		projekcija presjeka	
A_1		presjek šipke	
b, B		širina, debljina	mm
c		koeficijent	
d, D		promjer	mm
d		vanjski promjer vijka	
d_1		promjer jezgre vijka	
D_0		promjer rondele, prečki	
D_r		reducirani promjer otkovka	
E		modul elastičnosti	kp/mm²
F		sila	kp
F_{pr}		sila prostora	
G		težina	kp
G_1		— malja	
G_2		— nakovnja	
G_{ot}		— očišćenog otkovka	
G_{sir}		— sirovca	

h, H		visina, dubina	mm
h		uspon navoja	mm
k		specifični otpor deformacije	kp/mm²
l, L		dužina	mm
n		broj, broj prilaza	
p		specifični pritisak	kp/mm²
Q		toplina	J
r, R		radijus	mm
r		proizvoljni radijus	
r_0		radijus savijenog predmeta	
r_M		— ulaznog ruba matrice	
s, S		debljina	mm
v, w		brzina	m/s
W_m		srednja brzina deformacije	
W		radnja	J
z		zračnost	μm
α		kut, kut povlačenja	°
α_{opt}		optimalni kut	°
β		kut nagiba trna	°
ϑ		lomno produženje	
ε		jedinično produženje	
η		iskoristivost, stupanj djelovanja	
μ		koeficijent trenja	
ρ		radijus	mm
σ		normalno naprezanje	kp/mm²
σ_L		lomna čvrstoća	
σ_m		čvrstoća materijala	kp/mm²
σ_p		granica popuštanja	kp/mm²
σ_{Vx}		vlačna naprezanja u smjeru osi x	
σ_{tx}		težina naprezanja u smjeru osi x	
σ_T		čvrstoća pri temperaturi, npr. kovanja	
τ		vrijeme, trajanje deformacije	s
φ		kut uspona navoja	°
φ		stupanj deformacije	
ψ		redukcija presjeka za 1 prolaz	
ψ_m		srednii stupanj redukcije po 1 prolazu	

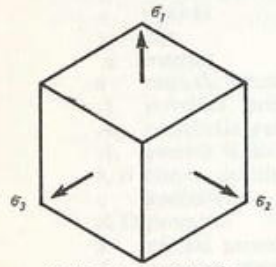
22 PLASTIČNA OBRADA

Tehnika plastičnog oblikovanja obuhvaća široka područja proizvodnje, počevši od valjaoničkih proizvoda u obliku limova, traka, šipki, profila, tračnica, cijevi i žica pa do finalnih proizvoda u obliku raznovrsnih otkivaka, otpresaka, ispresaka, suda, ambalaže, medalja, kovanog novca i dr. U posljednje doba sve se više primjenjuje na području proizvoda koji su se donedavna izradivali isključivo skidanjem strugotine: sitni dijelovi raznih aparata, motora i municije, zupčanici, gravure kalupa itd.

Glavne tehnike rada kojima se danas služi plastična obrada metalnih materijala jesu: valjanje, isprešavanje ili ekstruzija, kovanje slobodno i u ukovnjima, duboko vučenje, provlačenje, hladna ekstruzija, hladno tiskanje i utiskivanje, kutno i kružno savijanje. Neke od tih tehnika rada razvile su se u posebne proizvodne grane, kao što su: valjaonička proizvodnja, proizvodnja suda i ambalaže, kovačka proizvodnja otkivaka i otpresaka, proizvodnja vijaka, matica i zakovica, proizvodnja lanaca, proizvodnja municije, metalnog novca, medalja i dr.

22.1 IZ TEORIJE PLASTIČNOG OBLIKOVANJA

22.11 Uvjet plastičnog tečenja. Plastična obrada sastoji se u većem ili manjem relativnom premještavanju pojedinih slojeva deformiranog materijala, i to tako da se među njima sačuva kontinuitet, dakle bez pojave loma i pukotina. Sam proces oblikovanja treba da bude nepovratan tako da nastali novi oblici znače novo i nepovratno stanje. U tu svrhu je neophodno da vanjske sile koje izvode te promjene oblika izazivaju u materijalu dovoljno visoka naprezanja koja će biti u stanju da izazovu i dovoljno velike deformacije. Da bi pri razvlačenju nekog pokusnog štapa u hladnom stanju mogle započeti trajne deformacije, neophodan je uvjet da vlačno naprezanje u materijalu štapa dosegne vrijednost granice popuštanja. U najopćenitijem slučaju troosno napregnutog stanja, kad je materijal u sva tri smjera napregnut glavnim naprezanjima σ_1, σ_2, σ_3, gdje je $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ①, tada bi, kako teorija uči, analogni uvjet za početak plastičnog tečenja glasio:

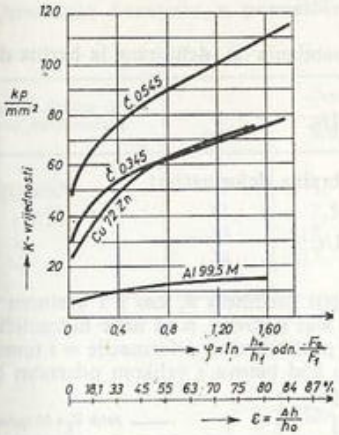


① Troosno naprezanje

$$\sigma_1 - \sigma_3 = k$$

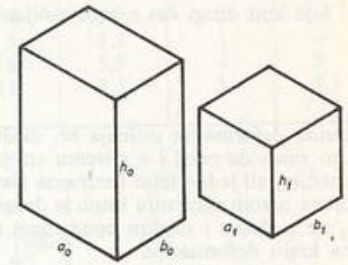
Tu je veličina k samo u idealnom slučaju, za vrlo nez natne promjene oblika i uz vrlo niske brzine deformacije identična s laboratorijski određenom granicom popuštanja za dotični materijal. U većini će slučajeva veća veličina k ležati – pri hladnom oblikovanju – negdje između granice popuštanja σ_R, koja čini prijelaz iz elastičnog u plastično područje i prekidne čvrstoće materijala σ_L. Pri relativno velikim promjenama oblika izvedenim uz velike brzine deformacije, kao, na primjer, pri kovanju u toplom stanju, može k ne samo dosizati već i prelaziti konvencionalno definirane σ_L – vrijednosti materijala za dotičnu temperaturu. Veličina k je općenito funkcija stupnja i brzine deformacije pa s njihovim porastom raste i k. Kolik će biti stvarni k, treba za svaki pojedini slučaj posebno ocijeniti. To nije uvijek jednostavno i često postoji stoga stanovita nesigurnost pri odabiranju vrijednosti k, a odatle i u računskom određivanju deformacionih sila koje su funkcija veličine k. Pri oblikovanju u toplu stanju često se radi jednostavnosti uzima za k vrijednost čvrstoće materijala pri dotičnoj temperaturi, no to treba shvatiti samo kao grubu približnost.

Dijagram ② daje prema VDI 5—3 200 k-vrijednosti za hladno oblikovanje pomoću, sabijanja valjanja, provlačenja i sl., ovisno o veličini izvedene deformacije, i to za dvije vrste čelika u normaliziranom stanju te za mjed 70 i aluminij 99,5% u omekšanom stanju.



② Dijagram k-vrijednosti za hladno oblikovanje

Vidi se jak porast k-vrijednosti sa stupnjem deformacije $\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1}$, odnosno s postotnim skraćenjem $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100\%$.



③ Stupanj deformacije

22.12 Stupanj deformacije. Prizmatički predmet ③ ima početne dimenzije a_0, b_0, h_0, a nakon zaprešavanja (sabijanja) ima a_1, b_1, h_1. Iz zakona o konstantnosti volumena prije i nakon deformacije $a_0 \cdot b_0 \cdot h_0 = a_1 \cdot b_1 \cdot h_1$ slijedi:

$$\ln \frac{a_0}{a_1} + \ln \frac{b_0}{b_1} + \ln \frac{h_0}{h_1} = 0$$

ili:

$$\varphi_a + \varphi_b + \varphi_h = 0.$$

Riječima: suma stupnjeva deformacije u tri međusobno okomita smjera jednaka je nuli. Poznavajući stupnjeve deformacije u dva smjera, možemo odatle naći stupanj deformacije u trećem smjeru.

Pri ispitivanju svojstava nekog materijala na pritisak daje se kao mjerilo deformacije tzv. relativno skraćenje pokusnog uzorka

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

Između tako definiranog skraćenja ε i prije definiranog stupnja deformacije φ postoji relacija

$$\varepsilon = 1 - e^{-\varphi} \quad \text{odnosno} \quad \varphi = \ln \frac{1}{1-\varepsilon}$$

22.13 Brzina deformacije. Pri razvlačenju materijala može se tzv. prosječna brzina deformacije w_m definirati kao omjer između relativnog produženja ε i trajanja deformacije τ, to jest:

$$w_m = \frac{\varepsilon}{\tau} \text{ u } \%/\text{s}.$$

Kako se brzina deformacije općenito tokom procesa deformiranja mijenja, može se odrediti brzina deformacije u neki određeni čas prema izrazu:

$$w = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta\tau} \text{ u } \%/\text{s}.$$

Pri plastičnom oblikovanju, npr. pri procesu sabijanja ③, definirana je brzina deformacije na početku sabijanja kao:

$$w_0 = \frac{v_0}{h_0} \text{ 1/s}.$$

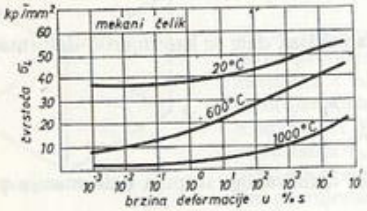
U bilo koji drugi čas tokom sabijanja bit će brzina deformacije:

$$w = \frac{v}{h} \text{ 1/s}.$$

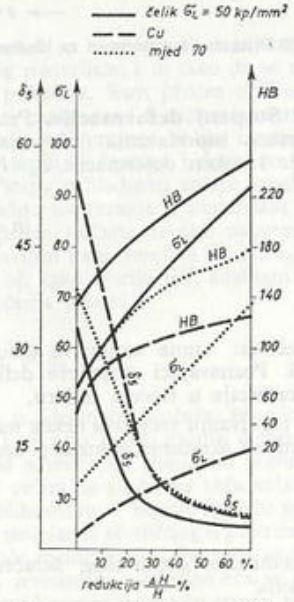
Brzina deformacije mijenja se, dakle, s visinom predmeta h, kao i s brzinom alata v, a to znači da ovisi i o sistemu stroja koji taj alat pokreće. Kod neke hidrauličke preše s malim, ali jednolikim brzinama alata (tlačne ploče) brzina deformacije w i njezina promjena tokom sabijanja bitno je drugačija nego kod batova s velikom udarnom brzinom v_0 na početku i naglim opadanjem te brzine prema kraju deformacije.

Sila deformacije ovisi, uz ostalo, i o brzini deformacije. Stoga je praktički važno poznavanje te brzine pri određivanju sila deformacije.

Brzina deformacije primjetljivo utječe i na prekidnu čvrstoću materijala σ_L, kako se vidi iz ④, koja vrijedi za mekani čelik. Ovdje je ta brzina izražena kao srednja brzina u %/s i nanesena je na horizontali, počevši od vrlo malih do vrlo velikih vrijednosti. Iz dijagrama se jasno vidi da je njen utjecaj znatno jači pri povišenim temperaturama. To je važno za plastična oblikovanja u toplu stanju.



④ Utjecaj brzine deformacije na čvrstoću



③ Dijagram očvršćivanja materijala u vezi s izvedenim deformacijama

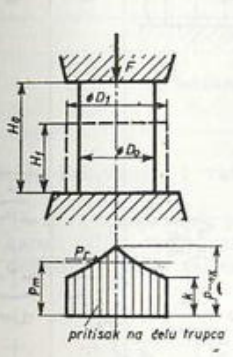
22.14 Očvršćenje materijala. Pri plastičnom oblikovanju u hladnu stanju dolazi redovito do većeg ili manjeg povećanja čvrstoće i tvrdoće te do smanjenja istežljivosti. Te promjene mehaničkih svojstava rastu s visinom izvedenih deformacija. Dijagrami na ⑤ pokazuju te promjene ovisno o postotnoj redukciji debljine pri hladnom valjanju limova i traka tehničkog bakra, mjedi 70 i ugljikova čelika sa 0,25 C. Vidi se da redukcije

prvobitne debljine od 65 do 70% daju tim metalima otprilike dvaput veću čvrstoću i tvrdoću, ali na štetu prvobitnog produženja δ, koje se smanjilo na svega 2 — 5%. Tako otvrdnuti metali mogu se pomoću zagrijavanja povratiti u prvobitno mekano stanje.

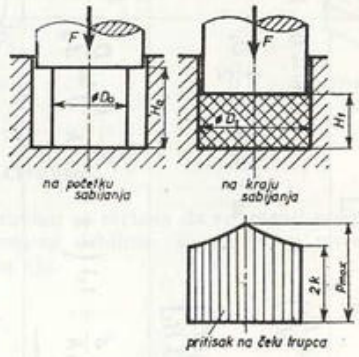
22.15 Opadanje čvrstoće s porastom temperature za četiri vrste ugljikovih čelika

Tablica 1.

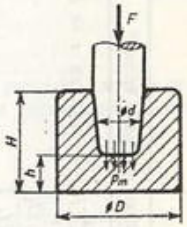
Čvrstoća čelika pri sobnoj temperaturi	Čvrstoća čelika pri visokim temperaturama					
	800°	900°	1 000°	1 100°	1 200°	1 300°
40 kp/mm²	7	5	4	3	2	—
60 „	11	7,5	5	3,5	3	—
80 „	17	12	8	5,5	4	3
100 „	24	17	11	7,5	5	3,5



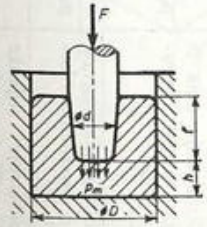
⑥ Sabijanje okruglog trupca



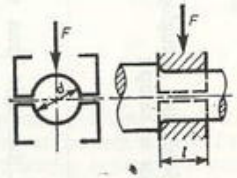
⑦ Sabijanje okruglog trupca u kalupu



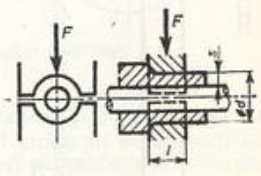
⑧ Utiskivanje trna u okrugli trupac



⑨ Utiskivanje trna u okrugli trupac zatvoren u kalupu



⑩ Oblikovanje ležajnog čepa u dvodijelnom kalupu



⑪ Sabijanje stijenke šupljeg cilindra u dvodijelnom kalupu

22.16 Nekoliko formula za računsko određivanje sila deformacije i naprezanja Tablica 2.

Deformacija	Specifičan pritisak p kp/mm²	Sila F kp
⑥ Sabijanje okruglog trupca	$p_r = k\left[1+\frac{2\mu}{H_1}(R_1-r)\right]$ za $r = R_1$ $p_r = k$ $p_{max} = k\left[1+\frac{\mu D_1}{H_1}\right]$ za $r = 0$ $p_m = \frac{F}{1/4\, D_1^2\pi} = k\left[1+\frac{\mu D_1}{3H_1}\right]$	$F = \frac{1}{4} D_1^2 \pi k\left[1+\frac{\mu D_1}{3H_1}\right]$ Utrošena radnja $W = \frac{1}{2} F \Delta H = \frac{D_1^2\pi}{8} k (H_0 - H_1)\left(1+\frac{\mu D_1}{3H_1}\right)$
⑦ Sabijanje okruglog trupca u kalupu	$p_{max} = 2k\left(1+\frac{\mu D_1}{H_1}\right)$ za $r = 0$ $p_{min} = 2k$ za $r = R_1 = \frac{1}{2} D_1$ $p_m = 2k\left[1+\frac{\mu D_1}{3H_1}\right]$	$F = \frac{1}{2} D_1^2 \pi k\left[1+\frac{\mu D_1}{3H_1}\right]$
⑧ Utiskivanje trna u okrugao trupac	$p_m = k\left[1+0{,}15\frac{d}{h}+1{,}1\left(1+0{,}2\frac{H-h}{h}\right)\ln\frac{D}{d}\right]$	$F = \frac{1}{4} d^2\pi\, p_m = \frac{1}{4} d^2\pi k\left[1+0{,}15\frac{d}{h}+1{,}1\left(1+0{,}2\frac{H-h}{h}\right)\ln\frac{D}{d}\right]$
⑨ Utiskivanje trna u okrugao trupac zatvoren u kalup	$p_m = k\left[1+e^{\frac{4\mu l}{D-d}}\right]\left(1+\frac{\mu d}{3h}\right)$	$F = \frac{1}{4} d^2\pi\, p_m = \frac{1}{4} d^2\pi k\left[1+e^{\frac{4\mu l}{D-d}}\right]\left(1+\frac{\mu d}{3h}\right)$
⑩ Oblikovanje ležajnog čepa u dvodijelnom kalupu	$p_m = \frac{F}{dl} = k\left[1+\frac{2\mu l}{3d}\right]$	$F = dlk\left[1+\frac{2\mu l}{3d}\right]$
⑪ Sabijanje stijenke šupljeg cilindra u dvodijelnom kalupu	$p_m = \frac{F}{dl} = k\left[1+\frac{\mu}{3}\left(\frac{1}{s}+\frac{1}{d}\right)l\right]$	$F = dlk\left[1+\frac{\mu}{3}\left(\frac{1}{s}+\frac{1}{d}\right)l\right]$

22.2 KOVAČKA PROIZVODNJA

Prema načinu na koji se izvodi preoblikovanje kovanog materijala razlikujemo tzv. slobodno kovanje, koje se izvodi bez primjene kalupa, i kovanje u kalupima, tzv. ukovnjima.

22.21 Slobodno kovanje

To je svakako najstariji postupak oblikovanja u tom stanju. Primjenjuje se ako se radi o najsitnijim otkivcima ili o onim najkrupnijima koji se već i zbog malobrojnosti otkivaka proizvode gotovo isključivo slobodnim kovanjem. Osnovne i najvažnije operacije tog postupka jesu:

22.211 Sabijanje ①. Uvjet da se ne pojavi izvijanje jest $h_0 \leqq 3d$.

① Sabijanje

② Iskivanje i raskivanje

22.212 Iskivanje i raskivanje

Ta se operacija može provesti sa svrhom da se smanji poprečni presjek, kao što to pokazuje ②, u svrhu promjene debljine ③ te u svrhu povećanja promjera i smanjenja debljine stijenke prstena ④.

③ Iskivanje i raskivanje

④ Iskivanje i raskivanje

Često je potrebno odrediti najmanju veličinu kvadratnog presjeka sirova materijala iz kojega je raskivanjem moguće iskovati presjek $h \times b$. Tablica 1. prikazuje tu dimenzijsku ovisnost. Tablica 2. prikazuje u svrhu orijentacije vrijednosti za veličinu sila, ovisno o promjeru materijala, pri iskivanju na preši, a tablica 3. težinu malja batova za iskivanje ovisno o dimenzijama materijala koji se kuje.

Dimenzijska ovisnost kvadratnog presjeka sirovine da se raskuje presjek $b \times h$

Tablica 1.

Širina b mm	Debljina h											
	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100	120	150
	minimalna stranica a mm											
30	25											
40	30	35										
50	35	40	45									
60	40	40	50	55								
70	40	45	55	60	65							
80	45	50	60	65	70	75						
90	50	55	60	70	75	80	85					
100	55	60	65	75	85	90	95					
120		65	75	85	95	100	105	105	115			
150			85	100	110	115	120	130	140	140		
180			95	110	120	130	140	150	150	160	170	
200				120	130	140	150	160	170	180	180	
250				140	160	170	180	190	190	225	230	230
300					170	190	200	225	230	250	260	280
350						230	240	250	260	280	290	300

Veličina sile ovisno o promjeru materijala

Tablica 2.

Veličina preše M_p	Promjer kovanog materijala mm	
	maksimum	minimum
500	550	200
800	800	300
1 000	900	400
1 500	1 150	600
2 000	1 300	700
2 000	1 600	1 000

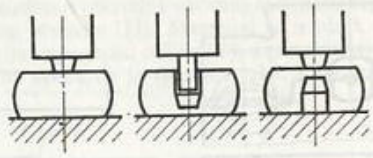
Težina malja za iskivanje ovisno o dimenzijama materijala za kovanje

Tablica 3.

Težina malja kp	Stranica kvadrata ili promjer kovanog materijala mm	
	maksimum	minimum
100	90	30
150	110	40
300	140	65
400	160	75
500	180	80
750	200	95
1 000	230	110
3 000	330	165

22.213 Probijanje

⑤ prikazuje faze probijanja za slučaj rada na batovima i prešama. Promjer rupe ovisan je o visini, širini ili promjeru ploče koja se probija. Tablica 4. prikazuje tu dimenzijsku ovisnost.



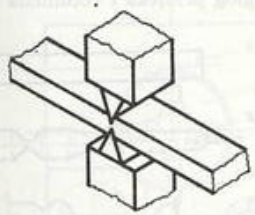
⑤ Faze probijanja na batovima i prešama

Dimenzijska ovisnost pri probijanju

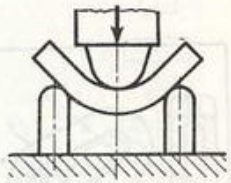
Tablica 4.

Visina h mm	Promjer D okrugle ploče ili širina B pravokutne ploče mm					
	Promjer rupe mm					
	200—250	250—315	315—400	400—500	500—630	630—800
100—315	80	80—100	80—125	80—150	80—200	80—250
315—400		100	100—125	100—150	100—150	100—200
400—500			125	125—150	125—200	125—250
500—630				125—150	125—200	125—250
630—800					150—200	150—200

22.214 Zasijecanje, kao predoperacija prije iskivanja i izduživanja ⑥.



⑥ Zasijecanje



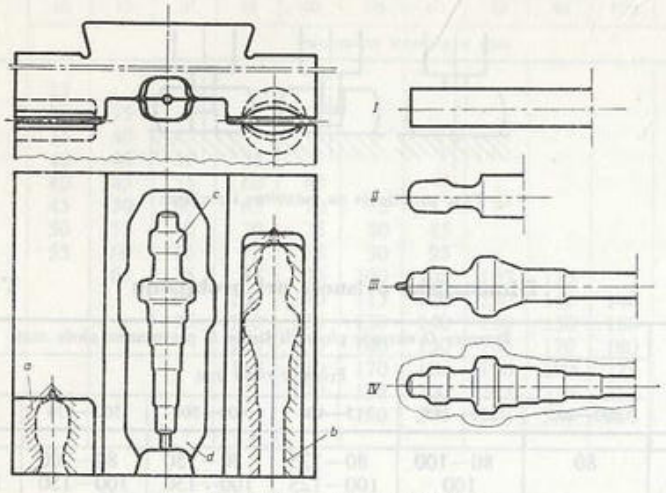
⑦ Savijanje

22.215 Savijanje ⑦.

22.22 Kovanje u ukovnjima

Suvremena masovna i serijska proizvodnja raznih otkivaka izvodi se kovanjem u ukovnjima, i to i radi toga da bi proizvodni troškovi bili niži a kvaliteta materijala bolja i jednoličnija i radi toga da bi se točnije mogli održavati oblici i dimenzije otkivaka.

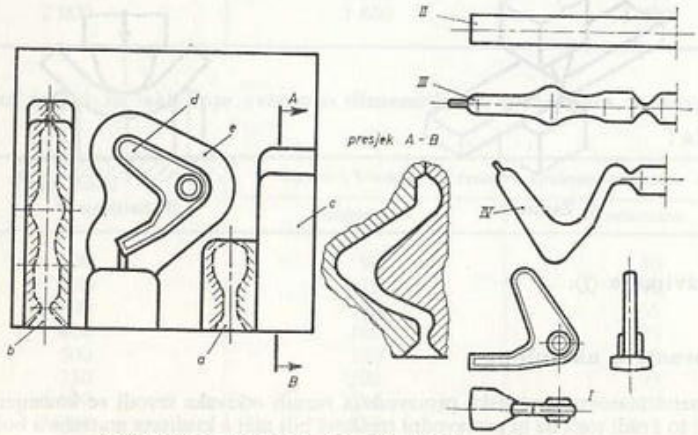
Formiranje završnog oblika otkivka u jednoj jedinoj operaciji izvedivo je samo u jednostavnim slučajevima. Polazeći od tzv. sirovca u obliku okruglog, četvrtastog ili pločastog odreska, u mnogo slučajeva može se doći do završnog oblika postepeno, tj. u dvije i više operacija, od kojih se one prve kadšto izvode izvan kalupa, pomoću slobodnog



⑧ Postepeno oblikovanje otkivaka

kovanja, a samo posljednja u kalupu. Često se predoperacije u obliku sabijanja, zaobljavanja, lokalnog zadebljanja ili produženja, savijanja i slično, izvode u istom kalupu u kojem je urezana i glavna završna gravura, a to sa stajališta brzine rada ima svojih prednosti.

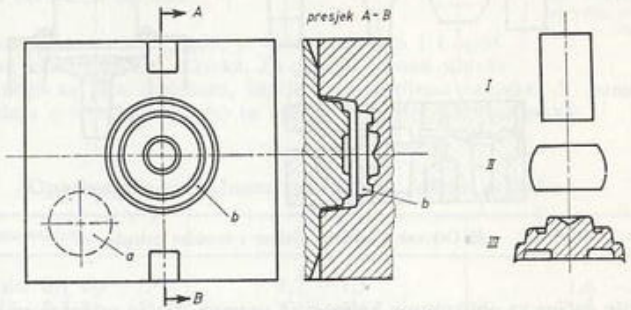
Iskivanje šipke i formiranje njezina oblika po duljini i presjeku ⑧, najlakši je slučaj kovanja u ukovnjima. Polazni oblik (I) je šipka okruglog presjeka i volumena nešto većeg



⑨ Postepeno oblikovanje složenijih otkivaka u ukovnju

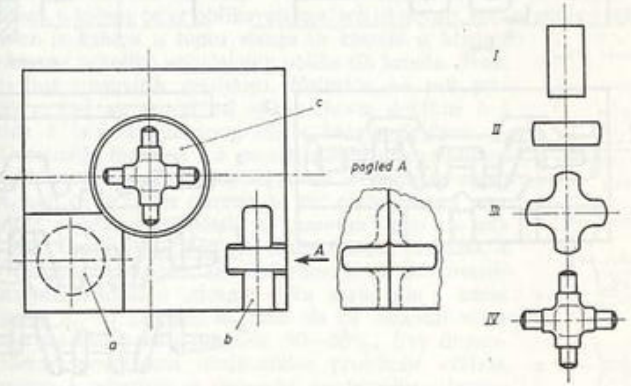
od volumena gotovog otkivka. Kovanje se izvodi na batu. U gravuri (a) kraj šipke poprima oblik (II), oblik (III) u gravuri (b), a u gravuri (c) otkivak poprima završni oblik (IV). U završnoj operaciji višak je materijala pri kovanju istekao u za to predviđeni kanal i formirao srh po uzdužnom opsegu otkivka. Da bi se srh uklonio s otkivka, potrebno je još provesti, na posebnom stroju i alatu, operaciju obrezivanja.

Na ⑨ prikazan je nešto složeniji otkivak i ukovanj za izradu tog otkivka. Polazni oblik je šipkasti materijal okruglog presjeka (II). Materijal se u oblik (III) nabire u gravurama (a) i (b). U gravuci (c) savija se pogodni oblik (IV), a gravura (d) služi za davanje konačnog oblika otkivka (I). Završna operacija je skidanje srha. Ukovanj je predviđen za kovanje na batu.



⑩ Otkivak iz cilindričnog odreska

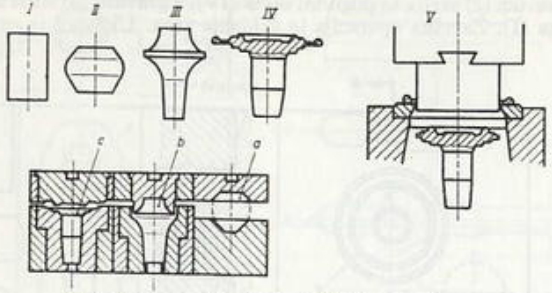
Ako je potrebno izraditi otkivak prema ⑩, može se kao ishodni oblik materijala uzeti cilindrični odrezak (I). Na prikazanom alatu na mjestu (a) izvrši se sabijanje u oblik (II), a potom se formiranjem u gravuri (b) dobiva završni oblik (III). Za razliku od prethodna dva slučaja ovdje srh ne poprima oblik kao prije, već se formira u produženje stijenke na najvećem promjeru zupčanika. Postupak je predviđen za kovanje na batu.



⑪ Otkivak u obliku križa

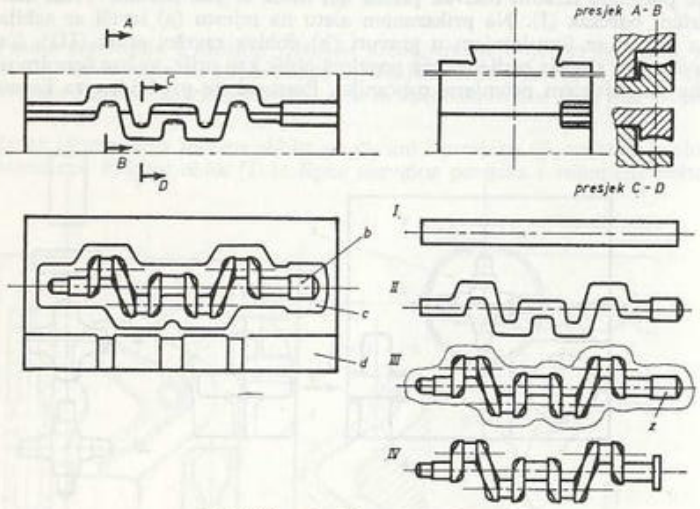
Otkivak u obliku križa, prikazan na ⑪, kuje se na batu iz cilindričnog ili kvadratnog odreska (I). U ukovnju se, na za to predviđenu mjestu (a), odrezak sabije u oblik (II), a potom se u gravuri (b) formira u oblik (III). Završni izgled (IV) daje se predmetu u gravuri (c), nakon čega je još potrebno u posebnom alatu za skidanje srha opsjeći otkivak.

⑫ prikazuje otkivak posebnog oblika koji je karakterističan po tome što se razmjerno tanko tijelo na svom gornjem dijelu proširuje u prirubnicu velikog promjera. Taj proizvod pogodan je za izradu na koljenastoj preši, u alatu prikazanom na ⑫. Ishodni profil je cilindričan odrezak (I), koji se u gravuri (a) formira u oblik (II), a u gravuri (b) poprima oblik (III). Završni oblik (IV) poprima proizvod u gravuri (c), nakon čega je još potrebno obrezati srh, kao što je to prikazano na istoj slici pod (▽).



⑫ Otkivak s tankim tijelom i širokim prirubom

Postoji više načina za oblikovanje koljenastih osovina. Način prikazan na ⑬ može se primijeniti na jednostavnije oblike osovine i provodi se na batu. Šipkasti početni oblik materijala (I) oblikuje se u gravuri (a) u oblik (II). Oblik (III) oblikuje se u gravuri (b).



⑬ Oblikovanje koljenaste osovine

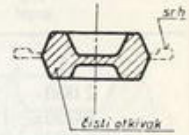
Višak materijala smješta se u kanal (c). Time je proces kovanja u prikazanom ukovnju završen. Srh se obrezuje u posebnom alatu na posebnom stroju. Završetak osovine (z) potrebno je još sabiti u prirubnicu. Ta se operacija izvodi na horizontalnom kovačkom stroju pa tako osovina poprima završni oblik (IV).

22.221 Volumen i težina sirovca. Pri kovanju u dvodijelnim kalupima neophodno je da volumen i težina sirovca budu veći od težine gotovog očišćenog otkivka ⑭. S tim viškom treba da se:

1 – nadoknadi gubitak metala uslijed izgaranja;

2 – osigura dobro prokivanje materijala i ispunjavanje gravure i za slučaj ako kalupi bilo iz kojeg razloga ne zatvaraju potpuno;

3 – nadoknadni gubitak metala od obrezivanja srha i od probijanja otvora na otkivku.



⑭ Volumen i težina sirovca prema čistom otkivku

Težina sirovca $G_{sir} = c \cdot G_{ot}$, gdje je koeficijent $c > 1$ i općenito ovisan o težini i obliku otkivka. Za okrugle i pune otkivke c je manji nego za jače istegnute, šuplje i tankostijene otkivke. S porastom težine otkivka opadaju c-vrijednosti, kako se vidi iz ovih nekoliko podataka:

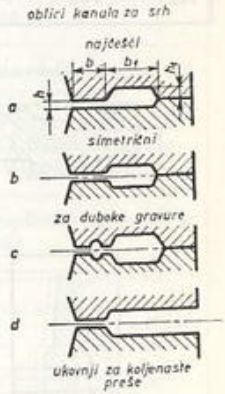
Opadanje c-vrijednosti porastom težine otkivka Tablica 5.

Težina otkivka	Okrugao	Istegnut, rašljast
do 0,1 kp	1,2 –1,5	1,6 –2,2
0,15–0,3 kp	1,18–1,4	1,5 –2,0
0,4 –0,8	1,15–1,3	1,4 –1,9
1,0 –2,0	1,10–1,25	1,3 –1,8
5–10	1,08–1,18	1,25–1,7

Za kvalitetniji i skuplji kovani materijal nastojat ćemo da c bude što niži.

22.222 Oblikovanje kanala za srh. Višak materijala treba da se smjesti u posebno predviđeni kanal, u kojem će se oblikovati tzv. srh ili porub, koji se skida s otkivka odmah pošto je izvađen iz kalupa u toplu stanju ili kasnije u hladnu stanju. ⑮ pokazuje nekoliko uobičajenih oblika tih kanala. Svaki od tih oblika ima stanovitih prednosti. Najčešće se pak primjenjuje oblik *a*, koji se sastoji od uskog mosta debljine h i radijalne širine b te voluminoznog dijela kanala debljine h_1 i širine b_1. Dimenzije mosta h i b ne smiju biti ni premale ni prevelike. Prevelika debljina h i suviše nizak b daju ne samo predebeo srh, koji će se i teže odrezivati, već omogućuju i prelako istiskivanje i odlaženje metala iz gravure tako da ona može biti i nepotpuno ispunjena. S druge strane, prenizak h i previsok b izazivaju povećane sile deformacije za oblikovanje srha i bespotrebno otežavaju oticanje viška materijala u kanal srha. Dimenzije h_1, b_1 odabiru se tako da bi istisnuti višak metala ispunio taj dio kanala s najviše 50—60%. Sve dimenzije kanala rastu s površinom horizontalne projekcije otkivka A_h. Visina mosta h određuje se računski na temelju iskustva prema izrazu:

$$h = 0{,}015 \cdot \sqrt{A_h} \text{ u mm}$$



⑮ Oblikovanje kanala za srh

Tablica 6. prikazuje vrijednosti za h, b, h_1, b_1 kanala u ovisnosti o veličini površine A_h horizontalne projekcije otkivka bez srha.

Dimenzije kanala prema površini A horizontalne projekcije otkivka

Tablica 6.

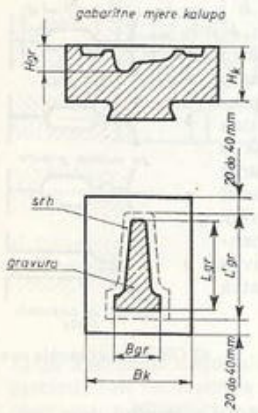
A_h mm²	h	b	h_1	b_1
1 800	0,7	6–8	3,3	18–20
2 000– 4 500	0,8–1,0	6–9	3,5	20–25
5 000– 11 000	1,1–1,5	7–10	3,5	23–28
12 000– 28 000	1,7–2,5	8–11	4,3	23–30
30 000– 70 000	2,6–4,0	9–12	5,0	25–32
80 000–180 000	4 –4,5	11–16	6–8	30–42
200 000–450 000	10	15–25	15	40–60

Veće vrijednosti za širine b i b_1 treba uzimati za onakve, obično dublje gravure, gdje se ova ispunjava ne samo jednostavnim sabijanjem već je potrebno i jače utiskivanje metala i gravura. Tako izračunate vrijednosti za dimenzije kanala za srh dane su u svrhu orijentacije i sasvim zadovoljavaju za plitke otkivke. Za voluminoznije otkivke većih visina potrebno je volumen tako dimenzioniranog proširenog dijela kanala računski provjeriti s obzirom na volumen viška materijala koji treba ovamo smjestiti.

22.233 Gabaritne mjere ukovnja. Mehanička otpornost kalupa, a još više i mogućnost višekratnog obnavljanja istrošene gravure zahtijevaju da se vanjske izmjere kalupa H_k, B_k, L_k ⑯ odabiru u ovisnosti o najvećoj dubini gravure H_{gr}, ovisno o najvećoj širini B_{gr} i dužini L_{gr}. Tablica 7. pokazuje kako se u svrhu orijentacije odabire visina kalupa H_k ovisno o najvećoj dubini gravure H_{gr}.

Visina kalupa H_k prema dubini gravure H_{gr} Tablica 7.

H_{gr} =	10	15	20	25	35	50	80	120
H_k =	100	125	140	150	170	200	240	300



⑯ Gabaritne mjere ukovnja

Kao stvarnu visinu H_k odabrat ćemo onu najbližu normiranu dimenziju čeličnih blokova za kalupe, a kadšto je potrebno prilagoditi se i kovačkom batu, koji zahtijeva određenu minimalnu visinu kalupa.

Širina kalupa B_k odabire se prema izrazu:

$$B_k = c \cdot B_{gr},$$

$c = 3 \quad - 3{,}5$ za $B_{gr} <$ 50 mm

$c = 2{,}5 - 3{,}0$ „ $B_{gr} >$ 50 do 250 mm

$c = 2 \quad - 2{,}2$ „ $B_{gr} >$ 250 mm.

Duljina kalupa L_k određuje se prema izrazu:

$$L_k = L'_{gr} + 2 \cdot (20 \text{ do } 40) \text{ mm},$$

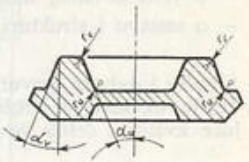
gdje je $L'_{gr} = L_{gr} + 2 \cdot (b + b_1)$.

22.224 Nagibi i zaobljavanje na otkivcima i gravurama. Vanjske i unutrašnje površine otkivka treba da budu ukošene da bi se on lakše vadio iz kalupa. Vanjski nagibi α_v iznose 3—5°, a unutrašnji 5—8° ⑰. Da bi metal lakše i pravilnije tekao te dobro ispunjavao gravuru, kao i radi toga da bi nam kalup dulje trajao zbog manjeg trošenja, nižih unutrašnjih napona i zbog rjeđeg loma, treba sve uglove i ćoškove dovoljno zaobliti. Vanjski ćoškovi na otkivcima, koji odgovaraju unutrašnjim uglovima gravura, zaobljuju se sa:

$r_v = 1{,}0 - 1{,}5$ mm za lagane otkivke ispod 1 kp težine

$r_v = 2{,}0 - 3{,}0$ „ za otkivke od 2 do 10 kp.

Uglovi na otkivcima, odnosno ćoškovi u gravurama zaobljuju se sa $r_u =$ do $3\,r_v$.



⑰ Nagibi i zaobljenja na otkivcima i gravurama

22.225 Dodatak na obradu. Obradivana mjesta sirovih otkivaka imaju dimenzije koje se razlikuju za tzv. dodatak na obradu od završnih dimenzija otkivaka nakon obrade. Taj dodatak ovisi o kvaliteti i težini otkivaka, a u manjoj mjeri i o sistemu kovačkog stroja. Visina tog dodatka uključuje u sebi visinu svih grešaka i odstupanja dimenzija uslijed nedovoljnog zatvaranja kalupa, nepravilnog izvancentričnog vođenja kalupa, istrošenosti gravure, izbačenosti otkivka i dr. GOST 7505–55 daje vrijednosti za te dodatke na obradu.

Glavne skupine čelika za izradu ukovnja Tablica 8.

Skupina čelika	% C	%Cr	%Mo	%V	% ostalih	Namjena ukovnja
Ugljično alatni	0,7–0,85	–	–	–	–	jednostavna plitka mala gravura
Cr–Mn	0,4	2	–	–	1,5 Mn	za batove, male i srednje gravure
Cr–Ni–Mo (Utop-ekstra)	0,55	1	0,5	0,1	1,7 Ni	srednji i veliki za batove i složene gravure
	0,35	1,4	0,3	–	4 Ni	batovi i frikcione preše s dubokim gravurama
Cr–W–V (Utop 2)	0,3	2,5	–	0,6	4,5 W	jako toplinski opterećeni za preše
	0,3	2,5	–	0,4	9 W	toplinski teško opterećeni
Cr–W–Mo–V	0,3	4	0,3	0,15	2 W	visoka udarna žilavost
	0,65	4	0,9	0,7	9 W	toplinski teško opterećeni žigovi na horizontalnim kovačkim strojevima

22.226 Čelici za izradu ukovnja. Vijek trajanja ukovnja i broj otkivaka dobivenih do istrošenosti kalupa ovise općenito:

- o veličini otkivaka i složenosti njihova oblika
- o vrsti kovanog metala i temperaturi kovanja
- o sastavu i strukturi čeličnog materijala ukovnja.

Složene i duboke gravure za teške otkivke i visoke radne temperature znače teške radne uvjete uz koje se može postići rentabilan broj otkivaka samo upotrebom odgovarajuće kvalitete čelika za ukovnje.

22.227 O tvrdoći i predgrijavanju ukovnja. Ukovnji za topli rad (čelični otkivci) treba da budu nakon kaljenja napušteni na tvrdoću od 45 do 50 Rc. Prije početka rada treba ih predgrijati na 250–300°C.

22.23 Kovački strojevi

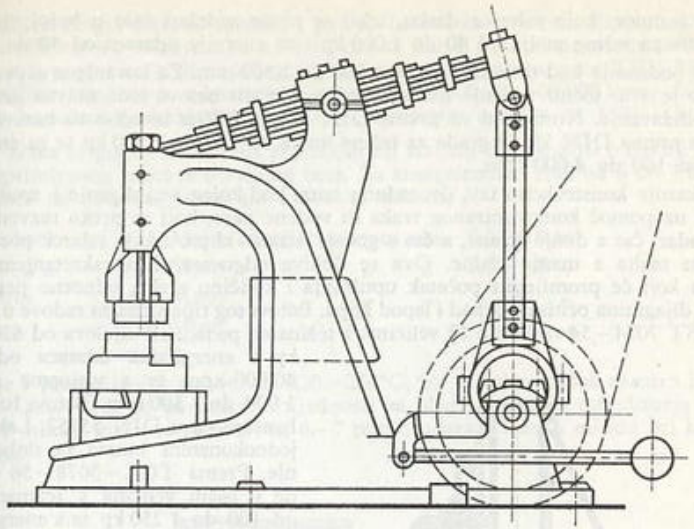
Uvod. Sve kovačke strojeve za plastično oblikovanje možemo s obzirom na njihovu konstrukciju i način rada proizvoljno podijeliti:

1 — u batove
2 — u preše
3 — u horizontalne kovačke strojeve.

U okviru tih skupina postoje konstrukcije koje su određene samo za slobodno kovanje, kao i konstrukcije za kovanje u kalupima (ukovnjima). Značajnije razlike između batova i preša jesu: kod batova je brzina malja u času sraza 4 do 7 m/s, zbog čega su i brzine deformacije na batovima nekoliko puta veće nego npr. na frikcijskim i koljenastim prešama, a mnogo veće nego na sporim hidrauličkim prešama. Pri kovanju u kalupima je zadržavanje oblikovanog metala u kalupu na batovima kraće nego na prešama, što povoljno utječe na vijek trajanja skupog kalupa. S druge strane, snažni udarci bata po kalupu ne mogu povoljno utjecati na vijek trajanja kalupa. Isto tako su trešnje nakovnja, temelja i okoliša, što ih izazivaju udarci teških batova, njihova slaba strana. Mirniji rad preša te točnije vođenje malja i alata važan su preduvjet za bolju točnost otkivaka i dulji vijek trajanja ukovnja, pogotovo onih s više gravura i predgravura. Jednostavno i brzo skidanje okujine s nekoliko udaraca malja po sirovcu prije ulaganja u kalup također je važna odlika i prednost batova pri kovanju u ukovnjima. Konačno, stanovite konstrukcije batova su jeftinije od preša za iste učinke, ali je zato fundament kod težih batova složeniji i skuplji.

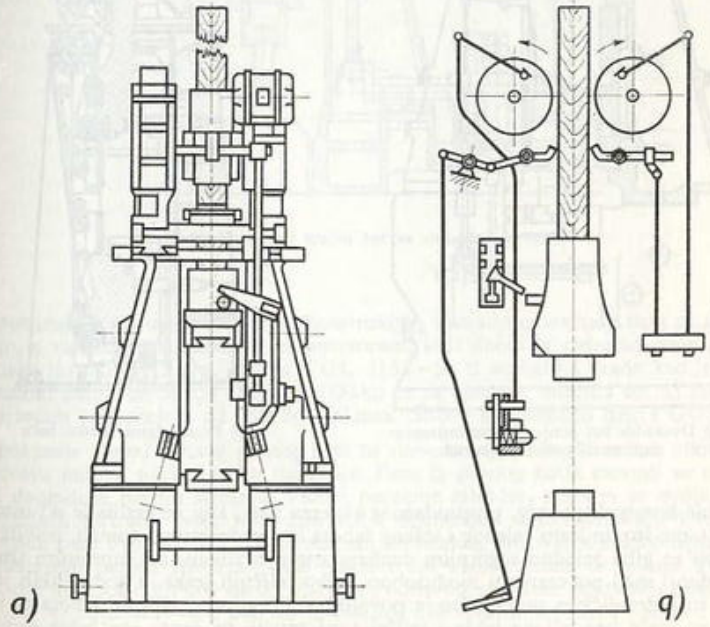
22.231 Batovi

Prema načinu na koji se pokreće malj razlikujemo mehaničke, pneumatske i parne batove. Od mehaničkih batova mnogo se upotrebljavaju polužni batovi i batovi na dasku, na remen ili na lanac. ⑱ pokazuje čestu konstrukciju polužnog tzv. pernog bata, kod kojeg je radna poluga izvedena od čeličnih lamela. Motka, koja povezuje tu polugu s ekscentrom i izvodi njezino zakretanje također je izvedena od čeličnih traka tako da djeluje opružno. Ti se batovi grade za težine maljeva od 40 do 250 kp te za 300, odnosno 120 udaraca u minuti. Vrlo su podesni za slobodno kovanje općenito plitkih predmeta, kao što su razni noževi, dlijeta, turpije i ostali alat za kućanstvo i poljoprivredu.



⑱ Polužni perni bat

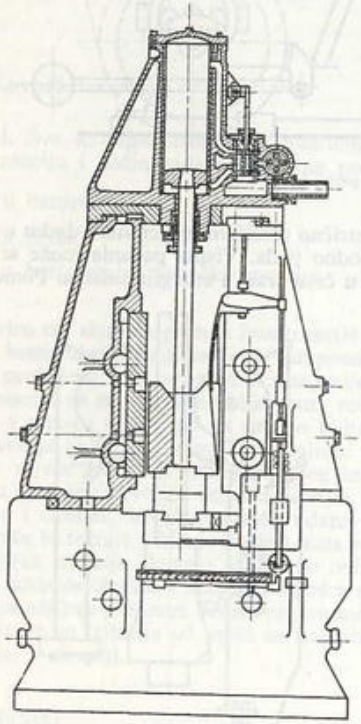
⑲a, b pokazuje izgled bata s daskom. Ekscentrično uležišteni valjci vuku dasku s maljem prema gore, a kad se razmaknu, malj slobodno pada. Visina padanja može se prema potrebi mijenjati. Time se mijenja i brzina u času sraza i energija udarca. Pomoću po-



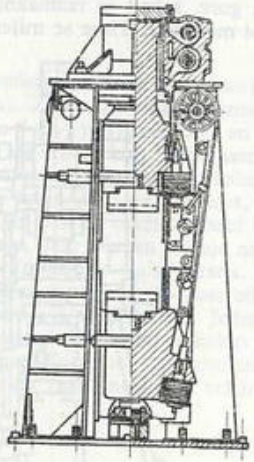
⑲ Bat s daskom

sebne kočnice, koja zahvaća dasku, malj se može zadržati bilo u kojoj visini. Batovi se grade za težine malja od 40 do 1 000 kp i za energije udaraca od 40 do 1 600 kpm. Visine podizanja kod tih batova iznose 900 do 1 500 mm. Za kovanje u ukovnjima predviđeno je vrlo točno vođenje malja. Prednost je tih batova jednostavna konstrukcija i lako održavanje. Normirani su prema DIN 55160. Slične izvedbe su batovi na remen, koji se prema DIN 55159 grade za težine malja od 100 do 2 500 kp te za energiju udaraca od 160 do 4 000 kpm.

⑳ pokazuje konstrukciju tzv. dvoradnog bata, kod kojeg se i dizanje i spuštanje malja izvodi uz pomoć komprimiranog zraka ili vodene pare, koji se preko razvodnika uvode u cilindar, čas s donje strane, a čas s gornje strane klipa. Lakši udarci postižu se padanjem malja s manje visine. Ova se dobiva odgovarajućim zakretanjem razvodnih organa koji će promijeniti početak upuštanja i količinu zraka, odnosno pare, a time i izgled dijagrama pritisaka iznad i ispod klipa. Batovi tog tipa služe za radove u ukovnjima, a GOST 7024–54 razlikuje 13 veličina, s težinama padajućih dijelova od 630 do 16 000 kp i energijama udaraca od 1 550 do 40 000 kpm te s visinama padanja od 1 000 do 1 500 mm. Batovi tog tipa obuhvaćeni su u DIN 55157. Lakši tipovi su jednokonzolni batovi za slobodno kovanje. Prema TGL–3078–56 oni se grade u osam veličina s težinama maljeva od 100 do 1 250 kp te s energijama udaraca od 100 do 2 500 kpm.



⑳ Dvoradni bat gonjen komprimiranim zrakom ili vodenom parom



㉑ Protuudarni sistem bata

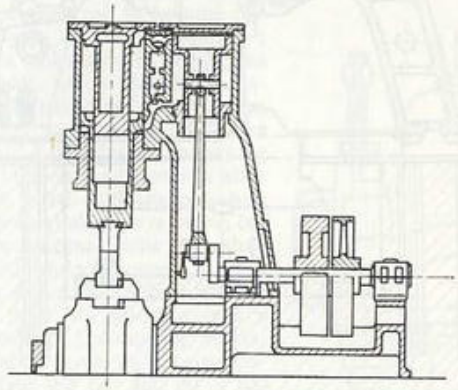
㉑ pokazuje konstrukciju tzv. protuudarnog sistema bata, koji se razlikuje od ostalih sistema po tome što umjesto mirnog i teškog šabota ima pokretan protumalj, približno iste težine, koji se giba zajedno s gornjim maljem istom brzinom, ali suprotnim smjerom. Gornji i donji malj povezani su međusobno preko čeličnih traka, a kod velikih jedinica povezani su hidrauličkim putem, što je povoljnije. Zbog pomanjkanja šabota ta je konstrukcija za inače iste učinke lakša i jeftinija od ostalih te danas sve češće zamjenjuje

teške jedinice drugih sistema zračnih i parnih batova sa šabotom. Brzine maljeva kod protuudarnih batova relativno su niže te iznose oko 3 m/s. Služe samo za kovanje u ukovnjima, a pogon im je ili na komprimirani zrak ili na vođenu paru. DIN 55158 obuhvaća veličine tih batova s energijom udarca od 8 000 do 100 000 kpm, dok najveći do danas izgrađeni protuudarni bat ima veću energiju udaraca od 1500((kpm.

Potrošak zraka za pogon dvoradnih protuudarnih zračnih batova ovisi o tlaku i temperaturi komprimiranog zraka te o veličini bata. Za komprimirani zrak od 6 do 7 atp sobne temperature taj potrošak iznosi po 1 punom udarcu:

dvoradni batovi od	5 Mpm	energije udaraca oko	0,8–0,9 m³
„ „	10 Mpm	„ „ „	1,5–1,8 „
protuudarni	20 Mpm	„ „ „	2,8 „
batovi	50 Mpm	„ „ „	6,5 „

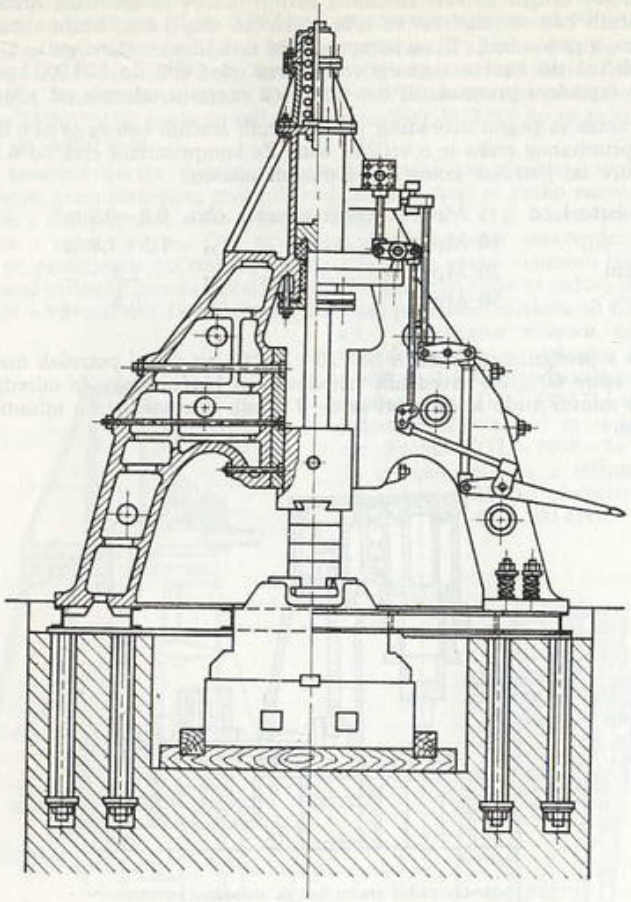
Radi li se s predgrijanim zrakom na 220–250°C, bit će taj potrošak manji i iznosit će približno samo 60% od navedenih vrijednosti za hladni zrak. Za određivanje potroška zraka u 1 minuti može se računati sa 6–7 punih udaraca bata u minuti pri kovanju u ukovnjima.



㉒ Dvoradni zračni bat za slobodno kovanje

㉒ pokazuje često upotrebljavanu konstrukciju dvoradnog zračnog bata za slobodno kovanje, s vlastitim prigrađenim kompresorom, koji dobavlja potreban zrak dosta niskog pritiska do najviše 3 atp. Prema TGL 3153–56 ti se batovi grade kao jednokonzolni za težine malja od 50 do najviše 1 000 kp te za energije udaraca od 63 do 2 500 kpm, s najvećim podizanjem od 250 do 900 mm. Sličnu klasifikaciju daje i GOST 712–52.

㉓ pokazuje izgled velikog parnog bata za slobodno kovanje glomaznih otkivaka koji zahtijevaju mnogo prostora oko nakovnja. Para iz parnog kotla razvodi se na način kao kod dvoradnih parnih strojeva. Veliko punjenje cilindra, s kojim se ovdje obično radi kod teških udaraca, često prekidani rad i dugotrajni zastoji uzrokuju vrlo nepovoljan potrošak pare i topline tako da je stupanj toplinskog djelovanja daleko ispod onoga kod stacionarnih parnih strojeva. Veće jedinice tih batova grade se prema TGL 3329 za energije udaraca od 4 000 do 25 000 kpm, odnosno za težine pokretnih dijelova (malj + + klip + klipnjača) od 1 000 do 10 000 kp, dok stvarno izvedene jedinice imaju težine i od 15 000 kp, a postoje i još veće od preko 30 000 kp.



㉓ Parni bat za slobodno kovanje

22.232 Iskoristivost kovačkih batova

Od energije malja u času sraza prenosi se na kovani predmet samo jedan dio, koji se za batove s mirnim nakovnjem može u postocima teorijski odrediti iz formule:

$$\eta = \frac{G_2}{G_1 + G_2} \cdot 100\%$$

To je idealna iskoristivost, koja će, kako se vidi, biti to veća što je težina G_2 relativno veća prema težini G_1. Kod kovačkih batova obično je $G_2 = 10\ G_1$ do $20\ G_1$ pa bi, prema tome, bilo $\eta = 90$ do 95%, što je svakako vrlo dobro. Uzmu li se, međutim, u obzir i svi oni gubici energije koje je trebalo svladati na putu od elektro-motora pa do časa sraza, bit će ukupan stupanj djelovanja bata bitno niži, ali svakako prilično ovisan o sistemu i veličini bata. Na primjer, kod nekog bata s daskom koji slobodno pada zbog

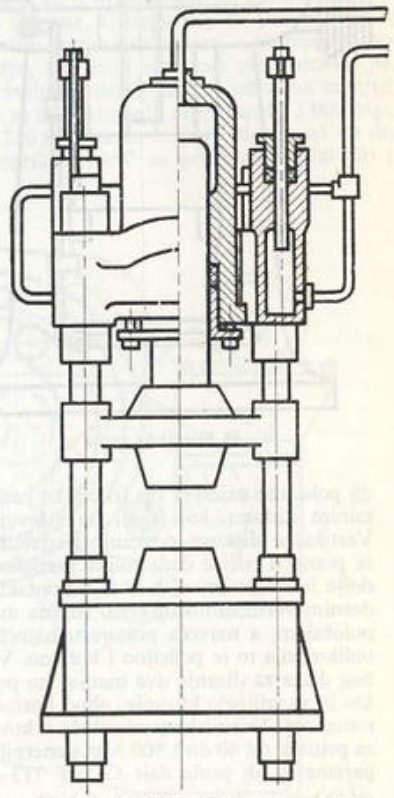
jednostavnosti konstrukcije ti su gubici manji nego kod nekog zračnog bata s vlastitim kompresorom. U kojim granicama se ukupna iskoristivost kreće kod pojedinih sistema batova pokazuju ovi podaci:

perni batovi	$\eta = 30 - 40\%$
batovi na dasku	$\eta = 40 - 60\%$
zračni batovi s vlastitim kompresorom	$\eta = 15 - 20\%$.

22.233 Preše

Za procese oblikovanja u kovačnicama služe hidrauličke, frikcijske i koljenaste preše.

Hidrauličke preše služe općenito za slobodno kovanje većih i težih otkivaka, za kovanje u ukovnjima, za skidanje srha te za tzv. radove u limu, kao što je prešanje limenih otpresaka, vučenje danaca i slično. S obzirom na to postoje među njima odgovarajuće konstruktivne razlike. Za sve konstrukcije preša ipak su zajedničke značajke male i jednolike brzine gibanja pokretnih dijelova preše i alata, miran rad, niža proizvodnost te viša nabavna cijena relativno prema batovima. Preše za slobodno kovanje upotrebljavaju se stoga prvenstveno za teške otkivke, da bi se izbjegli preteški batovi, te općenito za kovanje osjetljivih materijala slabije plastičnosti, koji ne podnose udarce i prenagle promjene oblika. Pri kovanju u ukovnjima hidrauličke preše služe prvenstveno za kovanje dubokih šupljih otkivaka čahurastog oblika, s prirubnicama ili bez njih, cijevnih razvodnika i slično, gdje se, dakle, radi o dubokom ubadanju, o utiskivanju, istiskivanju i vučenju, koje se operacije općenito provode sporije i za koje batovi ne bi bili prikladni ni zbog svog udarnog djelovanja ni zbog dugih hodova alata koji su kod takvih vrsti otkivaka potrebni. Također i zbog složenosti alata za te svrhe, često s ugrađenim izbacivačima, bolje pogoduje miran rad preše. Pri toplom kovanju u ukovnjima potrebno je skinuti okujinu sa sirovca prije operacije na preši. Za skidanje srha s otkivaka većih dimenzija i složenijeg oblika, kad obične ekscentarske preše više nisu dovoljne jer su potrebne sile od 400 do 1 500 Mp, rado se primjenjuju hidrauličke preše koje mirno djeluju.

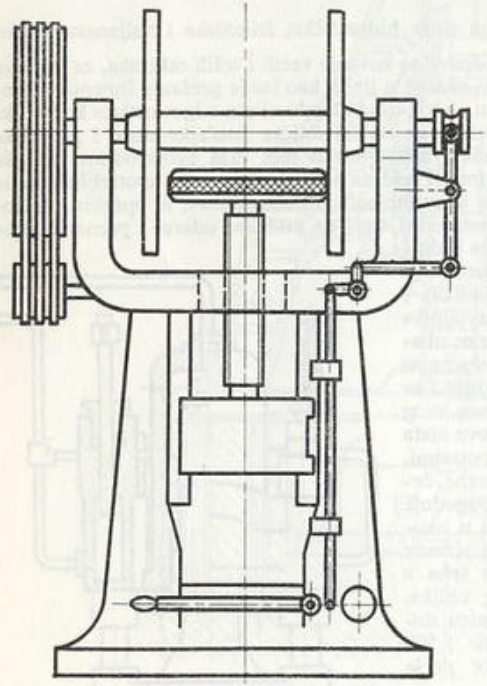


㉔ Kovačka hidraulička preša s jednim cilindrom

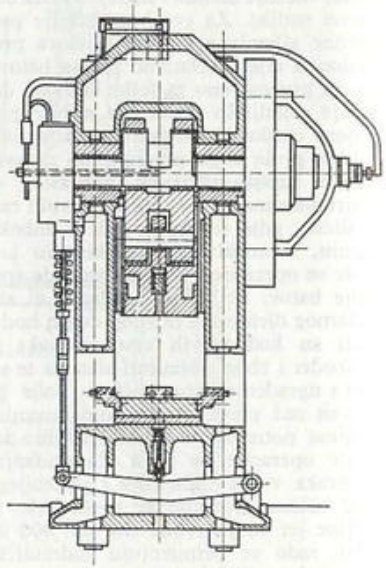
Preše za slobodno kovanje grade se obično za sile od 5 000 Mp, a one najveće i za 15 000 do 30 000 Mp. Za kovanje u ukovnjima dovoljne su manje preše do 2 000 Mp. ㉔ pokazuje tip kovačke hidrauličke preše s jednim cilindrom i dva mala cilindra za vraćanje, tj. za otvaranje kalupa. Na preši je predviđen i uređaj za izbacivanje otkivka iz kalupa, što je napose potrebno za duboke otkivke. Između preše i tlačne pumpe često je uključen tzv. hidraulički akumulator u kojem se sabire tlačna tekućina za vrijeme dok preša ne radi ili dok malo troši tekućine. Na taj način izlazi se s manjom i jeftinijom pumpnom stanicom te postiže jednoličnije opterećenje. Pritisak tekućine iznosi obično 200—250 atmosfera, što u slučaju velikih tlačnih sila nužno dovodi do

prevelikih dimenzija glavnog cilindra, odnosno zahtijeva prijelaz na više manjih cilindara, prikladnijih za izradu i transport.

Frikcijske preše za kovanje u dvodijelnim kalupima, ali samo s jednom gravurom, vrlo mnogo služe za kovanje raznovrsnih svornjaka, zakovica, vretenastih tijela zupčanika, koji se izrađuju sabijanjem šipkastih odrezaka u vertikalnom položaju, u zatvorenim kalupima bez kanala za srh, i to onda ako se potrebna preoblikovanja mogu postići u najviše dvije operacije. Svaka operacija izvodi se ne samo u posebnom kalupu već i na drugoj — susjednoj — preši. Kalupi za te svrhe redovito imaju ugradene izbacivače.



㉘ Frikcijska preša



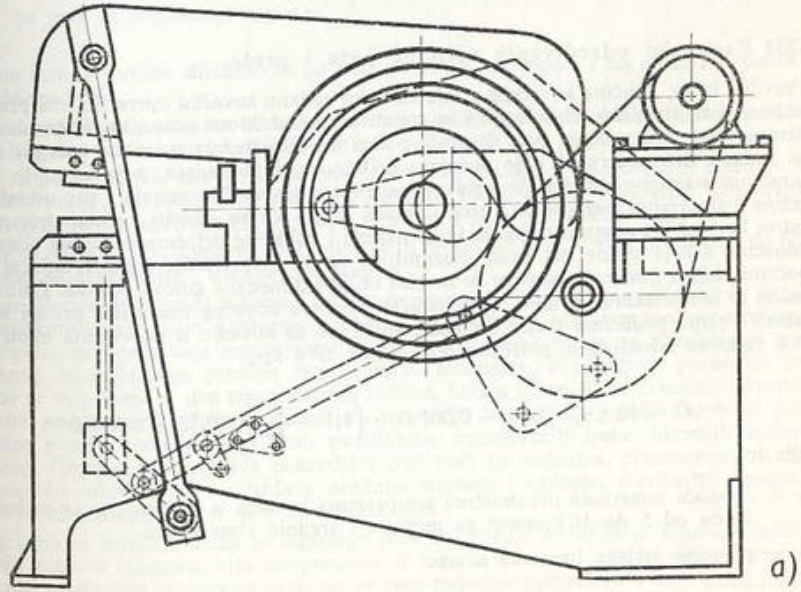
㉙ Koljenasta preša

㉘ pokazuje najčešći tip frikcijske preše, sa dva vertikalna tarna diska i jednim korizontalnim diskom, koji sjedi na viševojnom vertikalnom vretenu s trapeznim navojem. Vertikalne diskove povezuje horizontalna osovina, koju pokreće elektro-motor, a ona se pomoću ručice dade toliko pomaknuti ulijevo i udesno da će za gibanje malja prema dolje horizontalni disk doći u kontakt s lijevim vertikalnim, a za gibanje prema gore s desnim vertikalnim diskom. Brzina malja mijenja se kontinuirano s njegovim visinskim položajem, a najveća postaje u najnižem položaju malja, tj. u času sraza. Sa stajališta oblikovanja to je poželjno i korisno. Velike jedinice tih preša imaju kadšto umjesto jednog diska za dizanje dva manja, što povoljno mijenja dijagram brzine malja prema gore. Da bi se izbjeglo klizanje, obod horizontalnog diska presvučen je kožnatim ili gumenim remenom. Frikcijske preše služe u kovačnicama za kovanje u ukovnjima i danas se grade za pritiske od 40 do 1 500 Mp, s energijama udaraca od kojih 130 do 15 000 kpm. Osnovne parametre tih preša daje GOST 713—49.

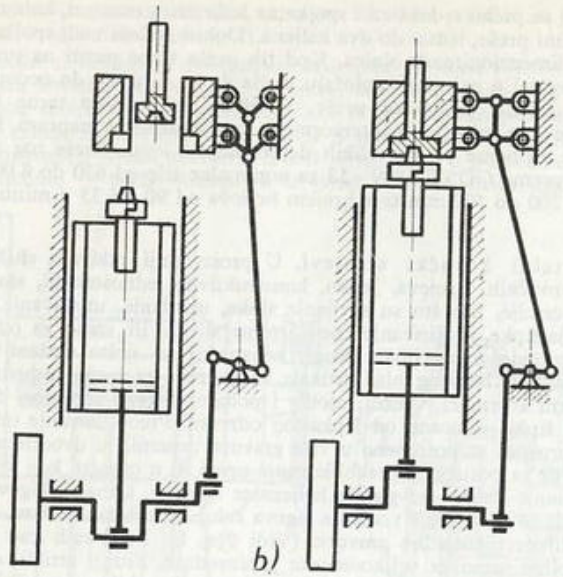
㉙ pokazuje shematski izgled **koljenaste preše,** koje se danas u masovnoj proizvodnji složenijih otkivaka u ukovnjima sve češće upotrebljavaju umjesto batova. Gibanje elektro-

-motora prenosi se preko reduktora i spojke na koljenastu osovinu, koja ima za te svrhe, već prema veličini preše, jedno do dva koljena. Dobro vođeni malj spojen je s koljenima preko solidno dimenzioniranih ojnica. Kod tih preša treba paziti na pravilno distanciranje alata (ukovnja) u najnižem položaju malja da ne bi došlo do nedopušteno visokog preopterećenja radnih elemenata preše. Posebna konstrukcija tarne lamelne spojke djeluje u slučajevima takvih preopterećenja i kao sigurnosna naprava, koja će zaštititi prešu i njezine elemente od prevelikih deformacija i loma. Preše tog tipa za kovačke svrhe grade se prema GOST 6809—53 za nominalne sile od 630 do 8 000 Mp, s hodovima malja od 200 do 500 mm te s brojem hodova od 90 do 35 u minuti.

22.234 **Horizontalni kovački strojevi.** U proizvodnji otkivaka služe dva tipa tzv. horizontalnih kovačkih strojeva. Jedan, konstruktivno jednostavniji, služi samo za odredene predoperacije, kao što su savijanje šipke, ubadanje, utiskivanje, sabijanje i zadebljavanje kraja šipke, proširivanje cijevi i tome slično, ili samo za odredenu završnu operaciju na gotovim otkivcima. Drugi, konstruktivno nešto složeniji tip tog stroja služi za proizvodnju bogatog niza artikala za potrebe motorne industrije kao što su, na primjer, razni svornjaci, ventili, motke i poluge, cijevne spojnice, dakle artikli koji se izrađuju od šipke, odnosno od šipkastog odreska. Preoblikovanje odreska u završni oblik otkivka provodi se postepeno u više gravura urezanih u dvodijelnom kalupu. Svi žigovi koji izvode ta postepena preoblikovanja upeti su u nosaču, koji se pokreće ulijevo i udesno, a gibanje dobiva od glavne koljenaste osovine. Gibanje žigova povezano je s kalupom tako da se za vrijeme vraćanja žigova kalup automatski otvara, a otpresci ručno preseljuju u slijedeće susjedne gravure. (Vidi ㉗a, b). Stroj radi kao poluautomat pa je stoga rentabilan samo za velikoserijske proizvodnje. Sitniji artikli, odnosno manjeg presjeka, rade se na hladno. Ti se strojevi grade za sile sabijanja otprilike do 3 000 Mp, za promjere šipki od samo nekoliko mm pa do 200 mm, te za hodove žigova od 80 do 380 mm. Snaga pogonskog elektro-motora je otprilike 7 kW za pritiske od 100 Mp i



㉗ a, b. Horizontalni kovački stroj



penje se na 135 kW kod najvećih jedinica za pritisak od 3 000 Mp. GOST 7023–56 daje osnovne parametre i dimenzije, i to za onaj jednostavni tip stroja za odredene kovačke predoperacije, u toplu stanju.

22.235 Računsko odredivanje veličine bata i preše

Pravilan izbor veličine kovačkog stroja za neku zadanu kovačku operaciju ima praktičnu važnost i sa stajališta tehnologije i sa stajališta rentabilnosti postupka. Računsko odredivanje potrebne veličine bata ili preše polazi od odredivanja potrebne energije udarca za zadanu deformaciju. To je općenito prilično složena zadaća, koja se može riješiti samo uz stanovite manje-više proizvoljne pretpostavke. Na primjer, pri odredivanju težine bata treba pretpostaviti broj udaraca kojim će se obaviti zadana deformacija, zatim koji od tih udaraca treba da bude najteži i kolika se deformacija njime obavlja te, konačno, s koje visine bat pada. Razumljivo je da će pri tome stanovit utjecaj imati početni oblik i dimenzije sirovca te završni oblik i dimenzije gotova otkivka. Osim toga, važna je temperatura kovanja te mehanička svojstva kovanog materijala pri toj temperaturi. Prema podacima ruske literature može se za kovanje u ukovnjima upotrijebiti ovaj izraz za odredivanje potrebne težine bata G u kp:

$$G = 10 \cdot \sigma_T \cdot D\,(1 - 0{,}005\,D) \cdot \left(1{,}1 + \frac{2}{D}\right)^2 \cdot (0{,}75 + 0{,}001\,D^2)^*$$

gdje je

σ_T = čvrstoća materijala pri dotičnoj temperaturi kovanja u kp/mm²; te se vrijednosti kreću od 5 do 10 kp/mm² za mekane i srednje vrste čelika

D = promjer otkivka bez srha u cm.

* Jednadžba vrijedi za $D < 60$ cm.

Taj izraz vrijedi za dvoradni bat na komprimirani zrak ili na paru ⑳, te za visinu padanja malja od 1,25 m. U tom izrazu uvažen je osim toga i stanovit utjecaj brzine deformacije te pretpostavljen odredeni oblik i dimenzije srha. Za neokrugle oblike otkivaka treba najprije odrediti odgovarajući tzv. reducirani promjer otkivka D_r iz izraza:

$$D_r = 1{,}13 \cdot \sqrt{B_m \cdot L}$$

Zatim se iz navedene jednadžbe nađe za taj D_r težina bata G za okrugli otkivak, dok će za stvarni neokrugli ta težina biti nešto veća i odredit će se iz izraza:

$$G = \left(1 + 0{,}1 \cdot \sqrt{\frac{L}{B_m}}\right).$$

Za odredivanje veličine preše za kovanje u ukovnjima preporučuje se analogni izraz za tlačnu silu F u kp:

$$F = 6{,}28\,D^2\,\sigma_T\,(1 - 0{,}001\,D) \cdot \left(1{,}1 + \frac{20}{D}\right)^2,$$

22.24 Kovačke peći

S obzirom na svrhu kojoj služe možemo peći u kovačkoj proizvodnji podijeliti:

1 — na peći za zagrijavanje kovačkog i prešanog materijala (sirovca)

2 — na peći za normalizaciju otkivaka i otpresaka

3 — na peći za predgrijavanje ukovanja (kalupa)

4 — na peći za popuštanje napona.

Prema izvoru topline dijelimo ih na peći na kruta, na tekuća i na plinovita goriva te na elektro-peći.

Peći za zagrijavanje sirovaca te za normalizaciju otkivaka i otpresaka zahtijevaju relativno najviše radne temperature i najčešće se lože nekim tekućim ili plinovitim gorivom.

Peći za podgrijavanje ukovanja, na temperaturu od najviše 350°C, češće se izraduju kao elektrootporne, a općenito se odlikuju lakoćom točne i brze regulacije temperature, nepromijenjenom atmosferom u uložnom prostoru peći te čistoćom pogona.

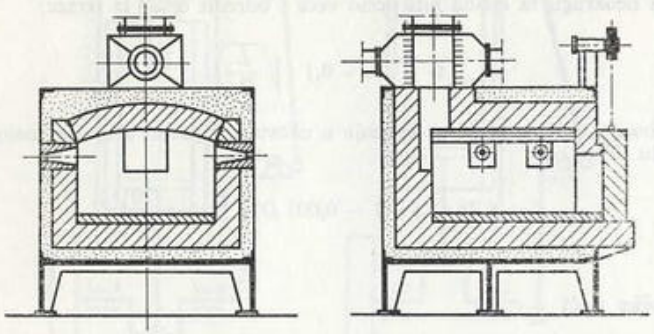
Dalje se dijele na tzv. komorne i na tunelske ili prohodne peći. Prema broju komora razlikujemo jednokomorne i dvokomorne peći.

Što se tiče temperaturnog režima u složenom prostoru, razlikujemo peći sa samo jednim, tj. visokotemperaturnim režimom, i peći s dva režima: niskotemperaturni režim za postepeno predgrijavanje materijala i visokotemperaturni režim za zagrijavanje predgrijanog materijala na završnu temperaturu. Komorne, a pogotovo prohodne peći, grade se vrlo često sa dva temperaturna režima, bilo u istom ili u posebno odvojenim ložnim prostorijama. Grijanje materijala premješta se ručnim potiskivanjem ili mehaničkim putem pomoću specijalnih potiskivača transportnih traka, okretnih stolova i drugog. Često se upotrebljava pokretljivi pod peći na kolicima, prvenstveno za teže i glomaznije otkivke, jer to olakšava urednije slaganje i vadenje, a redovito omogućuje i bolje iskorištenje radne površine poda peći.

Prigradnjom zagrijača zraka za izgaranje postiže se bolje iskorištenje topline vrućih izlaznih plinova izgaranja, viša temperatura u ložnom prostoru peći te stoga i povoljniji stupanj toplinskog djelovanja peći, pa se zato redovito upotrebljava kod većih jedinica i trajnog pogona.

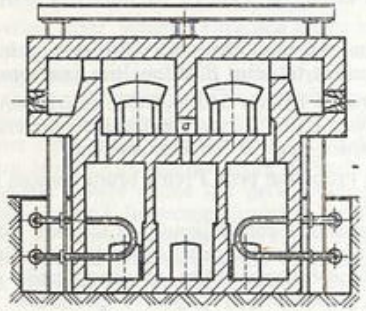
㉘ prikazuje **jednokomornu kovačku peć** s pomičnim vratima i predgrijačem zraka. Kao gorivo ovdje služi mazut. Da kapljice raspršenog goriva ne bi padale direktno na metal, plamenici su pogodno smješteni u gornji prostor peći.

Zrak za raspršivanje goriva i na pritisak od nekoliko stotina milimetara vodenog stupca pa sve do 2,5 atmosfere, što ovisi o viskozitetu goriva. Radi uspješnijeg rasprskavanja mazut je potrebno predgrijati otprilike na 60°C.

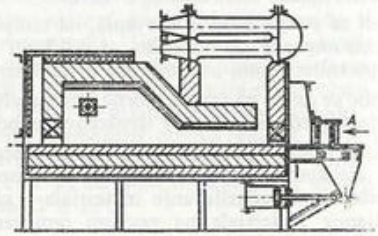


㉘ Jednokomorna kovačka peć

Da se izbjegne čekanje na zagrijavanje materijala u šaržama, primjenjuje se **dvokomorna peć** prema ㉙. Dvije potpuno jednake komore odvojene su pregradnom stijenom *a*. Dok se jedna komora prazni, u drugoj se priprema nova šarža. Peć je predviđena za mazut. Redovito joj je prigrađen zagrijač zraka.



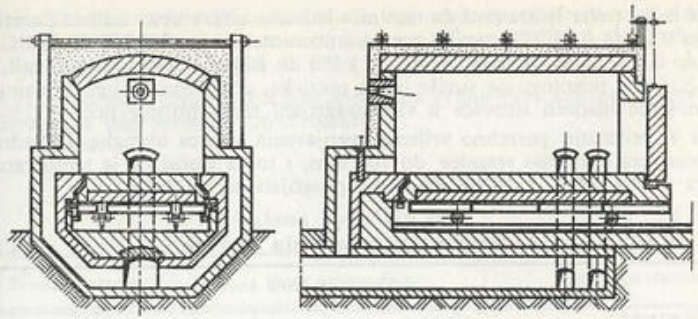
㉙ Dvokomorna kovačka peć



㉚ Potisna kovačka peć

㉚ prikazuje **potisnu peć.** Sirovci se dopremaju sa strane *A* u prostor niže temperature. Kretanjem prema izlazu zagrijavani materijal nailazi na sve višu temperaturu pa se tako postepenije zagrijava i progrijava na temperaturu kovanja. Potisni mehanizam periodički potiskuje komade sirovca položene na za to predviđene tračnice u podu peći.

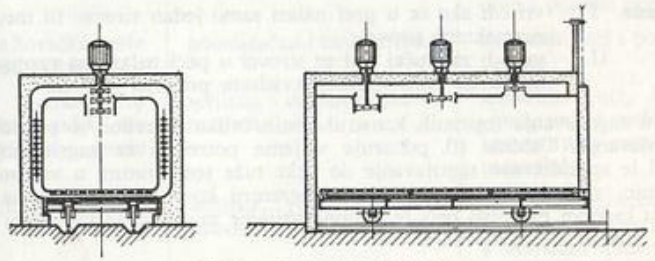
㉛ prikazuje **komornu peć za normalizaciju otkivaka** s podom za izvlačenje. Peć je predviđena za rad na mazut ili na plin.



㉛ Komorna peć za normalizaciju otkivaka

Elektrootporna peć za predgrijavanje ukovnja prikazana je na ㉜. Pod peći je na kolicima, a na prednjoj strani peći su pomična vrata. Za cirkulaciju zraka u svrhu izjednačenja temperature u cijeloj komori služe ventilatori na stropu.

Mnogo puta je izbor tipa peći ovisan i o uvjetima, tj. o brzini zagrijavanja metala koji proizlaze iz specifičnih svojstava metala, kao i dimenzija grijanog materijala. Poznato je da pri zagrijavanju visokolegiranih čelika vrijeme zagrijavanja u nižim temperaturnim područjima ima velik utjecaj na kvalitetu proizvoda. Ta okolnost zahtijeva šaržiranje



㉜ Elektrootporna kovačka peć

peći pri razmjerno niskim temperaturama. Za većinu legiranih čelika mora ta temperatura biti ispod 700°C, od 450 do 650°C. Nakon toga slijedi polagano dogrijavanje na 750 do 800°C. Kod prohodnih peći taj se režim razmjerno lako ostvaruje. Kod komornih peći primjenjuje se u tu svrhu komora za predgrijavanje. Ona se zagrijava plinovima koji dolaze iz glavnog radnog prostora. Temperatura komore za predgrijavanje iznosi 650 do 850°C. Materijal zagrijan na tu temperaturu potisne se u glavni radni prostor peći temperature od 1 200 do 1 300°C.

Od posebnog je značenja atmosfera u radnom prostoru peći. Postotak CO, CO_2, N_2, H_2O i SO_2 u izgorenim plinovima važan je zbog utjecaja na čelični materijal koji se zagrijava. Od osobite je važnosti prisutnost CO, CO_2 i H_2O. Mijenjanjem tih parametara može se atmosfera u peći učiniti cementirajućom ili oksidirajućom. Utjecaj atmosfere je to intenzivniji što je temperatura u peći viša.

Gubici materijala uslijed izgaranja iznose 3 do 4%, što ovisi i o veličini otkivka, tankostijenosti otkivka i o atmosferi u peći. Pri višestrukom zagrijavanju taj gubitak dosiže i 5%.

Trajanje zagrijavanja ovisi i o dimenzijama uloženih komada te o rasporedu i o međusobnom razmaku komada u peći. Što se tiče temperaturnog područja pogodnog za plas-

tičnu obradu, treba spomenuti da ono nije jednako za sve vrsti čelika. Za niskougljične čelike sa 0,10 do 0,20%C pogodni temperaturni interval je od 1 250 do 750°C. Za čelike sa 0,4 do 0,6% taj se interval sužuje na 1 150 do 800°C. Za većinu ugljičnih konstruktivnih čelika, a pogotovo ne suviše jakog presjeka, dopušteno je bez značajnijih posljedica unošenje hladnih sirovaca u visokozagrijani radni prostor peći.

Tablica 9. prikazuje potrebno vrijeme zagrijavanja sirovca okruglog i kvadratnog presjeka promjera, odnosno stranice do 100 mm, i to za slučaj da je temperatura radnog prostora peći 1 200°C i da sirovce treba progrijati na 1 150°C.

Vrijeme zagrijavanja sirovca Tablica 9.

Promjer ili stranica kvadrata sirovca mm	Profil sirovca			
	Okrugao		Kvadratni	
	Trajanje zagrijavanja u minutama			
	I	II	I	II
20	5,0	7,5	6,5	11,5
30	7,5	11,0	9,5	17,0
50	12,0	18,5	16,0	27,5
70	17,0	26,5	22,0	38,0
100	24,5	36,0	31,0	54,0

Napomena I — vrijedi ako se u peći nalazi samo jedan sirovac ili međusobno jako razmaknuti sirovci;
II — vrijedi za slučaj kad se sirovci u peći nalaze na razmaku pola promjera ili pola stranice kvadrata presjeka sirovca.

U slučaju zagrijavanja legiranih konstrukcionih čelika potrebno je postići postepenost pri zagrijavanju. Tablica 10. pokazuje vrijeme potrebno za zagrijavanje tih čelika. U tablici je specificirano zagrijavanje do neke niže temperature u zasebnom prostoru za ulaganje, vrijeme dogrijavanja na temperaturu kovanja i držanja na temperaturi kovanja u radnom prostoru peći te ukupno vrijeme zagrijavanja kao zbroj trajanja spomenutih pojedinih zagrijavanja.

Vrijeme zagrijavanja legiranih konstrukcionih čelika Tablica 10.

Promjer ili stranica kvadrata sirovca mm	Temperatura u prostoru predgrijavanja °C	Trajanje predgrijavanja sati		Trajanje dogrijavanja na temperaturi kovanja sati		Držanje na temperaturi kovanja sati		Ukupno trajanje zagrijavanja sati	
		I	II	I	II	I	II	I	II
100	800	0,1	0,2	0,7	1,4	0,2	0,2	1,0	1,8
140	800	0,2	0,3	1,3	1,9	0,3	0,5	1,8	2,7
180	800	0,3	0,5	1,7	2,4	0,4	0,6	2,4	3,5
200	700	0,4	0,5	1,8	2,8	0,5	0,6	2,7	3,9
250	700	0,5	0,6	2,3	3,5	0,5	0,7	3,3	4,8
300	700	0,6	0,7	2,7	4,2	0,6	0,7	3,9	5,6
350	700	0,6	0,7	3,0	4,7	0,6	0,7	4,2	6,1

Napomena I — vrijedi ako se u peći nalazi samo jedan sirovac ili međusobno jako razmaknuti sirovci;
II — vrijedi za slučaj kad se sirovci u peći nalaze na razmaku pola promjera ili pola stranice kvadrata presjeka sirovca.

Proizvodnja otkivaka na kovačkim strojevima ima svoje specifičnosti u pogledu složenosti oblika i težine otkivka, veličine serije i drugog. Te specifičnosti utjecat će na izbor stroja za kovanje, a s tim u vezi i na izbor pogodne peći.

U tablici 11. prikazan je pregled peći koje se načelno primjenjuju za pojedine vrste kovačkih strojeva i za odgovarajuću proizvodnju.

Primjena kovačkih peći Tablica 11.

Vrsta kovačkog stroja	Vrsta proizvodnje	Odgovarajuća peć
Kovački batovi težine malja od 75 do 1 000 kp	pojedinačna, maloserijska i serijska	komorne peći s pomičnim vratima
Parno-zračni batovi težine malja od 0,5 do 3 Mρ	pojedinačna, maloserijska i serijska	komorne peći s pomičnim vratima
Parno-zračni batovi težine malja 5 Mp i više	pojedinačna, maloserijska i serijska	komorne peći s pomičnim vratima, s pomičnim podom i potisne peći
Hidrauličke kovačke preše od 800 do 1 500 Mp	pojedinačna, maloserijska i serijska	komorne peći s pomičnim vratima, s pomičnim podom i potisne peći
Hidrauličke kovačke preše od 1 500 do 20 000 Mp	pojedinačna i maloserijska	komorne peći s pomičnim podom
Brzohodni parno-zračni batovi težine malja oko 3 Mp i frikcione preše	serijska, velikoserijska i masovna	komorne peći, karusel-peći, peći s mehaničkim transportom zagrijavanog materijala
Horizontalni kovački strojevi	serijska, velikoserijska i masovna	specijalno prilagođene komorne peći, komorne peći s vanjskim transporterom i komorne peći s pokretnim podom
Brzohodne preše za kovanje u ukovnjima	velikoserijska i masovna	indukcione elektro-peći

Dimenzije radnog prostora peći ovisne su u prvom redu o obliku i veličini materijala koji se u njima zagrijava. Karakteristična veličina je opterećenje poda peći; to je pak težina (kp) materijala koji se zagrijava po jednom kvadratnom metru poda peći na sat, a kreće se od 250 do 800. Opterećenje poda peći u uskoj je vezi s iskoristivošću topline, koja je definirana izrazom $\frac{Q_m}{Q_G}$, gdje je Q_m toplina predana metalu koji se zagrijava, a Q_G je ukupna količina topline dovedena gorivom.

η je kod kovačkih peći razmjerno nizak te iznosi 0,15 do 0,20, a rijetko dosiže 0,25.

U tablici 12. dan je prikaz ovisnosti topline iskoristivosti o opterećenju poda peći i dimenzijama radnog prostora komornih peći male i srednje izvedbe za slučaj kontinuiranog pogona i primjene predgrijača zraka.

Ovisnost proizvodnosti, opterećenja i iskoristivosti komorne peći

Tablica 12.

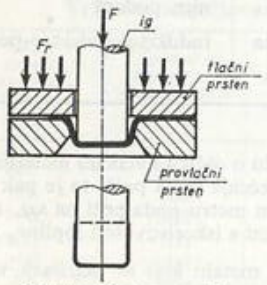
Dimenzije radnog prostora komorne peći (duljina × širina × visina) mm	Najbolja proizvodnost peći kg/sat	Opterećenje poda peći kg/m², sat	Iskoristivost %
600 × 460 × 450	135	300–400	21
900 × 900 × 600	320		18
1 100 × 1 100 × 750	330	300	23
1 200 × 1 350 × 750	600	370	19
1 500 × 1 200 × 750	610	355	18,5
1 500 × 1 500 × 750	820	365	19
2 500 × 1 600 × 1 000	1 200	300	26

22.3 DUBOKO VUČENJE

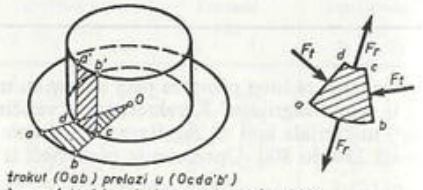
Postupak se sastoji u tome da se metal u obliku ploče u hladnu stanju provlačenjem kroz jedan ili više alata dovodi na završni oblik neke posude, kutije, poklopca, čančeta i slično. Uveden je već odavno u proizvodnji limenog suda i ambalaže, automobilskih karoserija i hladnjaka, limenih radijatora, plinskih i električnih kuhala, danceta za cisterne i kotlove, raznih poklopaca, čahura, boca i dr.

Razlikujemo dva slučaja: vučenje tankostijene robe, kad se završni oblik dobiva bez promjene u debljini stijenke, te vučenje čahura i boca, kad se polazi od debelostijene rondele, koja se najprije preoblikuje u plitko čanče, a zatim se višekratnim provlačenjem stijenka čančeta stanjuje i izdužuje.

22.31 Vučenje bez stanjenja stijenke. Princip postupka iz tankostijene rondele pokazuje ①. Alat se sastoji od tri dijela: žiga, provlačnog prstena ili matrice i tlačnog prstena. Tlačni žig uvlači rondelu preko zaobljenog ruba provlačnog prstena, koja na taj način poprima oblik žiga. Centralni dio rondele, na koji djeluje čelo žiga, ne doživljava pri tome nikakvih promjena oblika, za razliku od vanjskog prstenastog dijela rondele, koji treba da formira cilindrični plašt lonca ②.



① Vučenje bez stanjenja stijenke



② Vanjski prstenasti dio rondele stvara cilindrični plašt lonca

Trokutasti isječak rondele $0ab$ prešao je u oblik $0cda'b'$, pri čemu je dakle, prvobitan trapezni oblik $(abcd)$ prešao u plašt lonca $(a'b'cd)$. Vidi se da je pri tome dužina (ab) morala smanjiti na dužinu $a'b' = dc$, što je bilo moguće tako da su na elementu rondele

$(abcd)$ djelovale radijalne vlačne sile F_r i tangencijalne tlačne sile F_t. Te tlačne sile uzrokuju stvaranje nabora ③. Da se to spriječi, služi tlačni prsten, tako da je rondela čvrsto upeta između tlačnog i provlačnog prstena. Specifičan pritisak p tlačnog prstena na rondelu mora u tu svrhu biti dovoljno visok te iznosi:

$p = 20 - 30$ kp/cm² za čelične limove

$p = 18 - 25$ „ za mjedene limove

$p = 10 - 15$ „ za aluminijske limove.

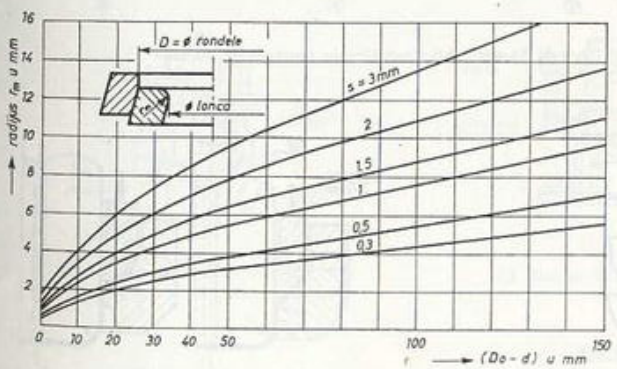
Tlačna sila F_{pr} na rondelu određuje se iz formule:

$$F_{pr} = \frac{\pi}{4}(D_0^2 - d^2) \cdot p$$

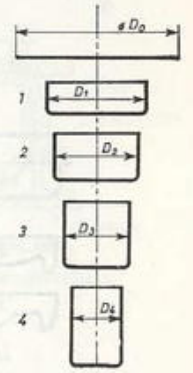
③ Stvaranje nabora uslijed tlačnih sila

Sklonost na formiranje nabora mnogo ovisi o vrijednosti omjera D_0/S, i D_0/d, gdje je S = debljina stijenke, d = promjer lonca. S porastom vrijednosti tih omjera raste i opasnost od pojave nabora. U proizvodnji kuhinjskog suda, gdje su vrijednosti tih omjera relativno visoke, potrebno je stoga uvijek raditi s tlačnim prstenom.

22.32 Kaczmarekov dijagram. Uspješno vučenje uvjetuje i pravilno zaobljavanje ulaznih rubova na matrici. Premali radijusi zaobljenosti r_M izazivaju u vučenom materijalu visoka naprezanja na savijanje, zbog čega dolazi do pucanja i škarta. Suviše veliki radijusi uzrokuju premalo nalijeganje rondele na matricu tako da se unatoč tlačnom prstenu mogu ipak formirati makar i sitniji nabori. ④ pokazuje tzv. Kaczmarekov dijagram za pravilno odabiranje radijusa r_M. Na horizontali su nanesene razlike $D_0 - d$, na vertikali r_M. Pojedina krivulja dijagrama odgovara određenoj debljini lima S. Dijagram vrijedi za čelični lim.



④ Kaczmarekov dijagram za odabiranje radija

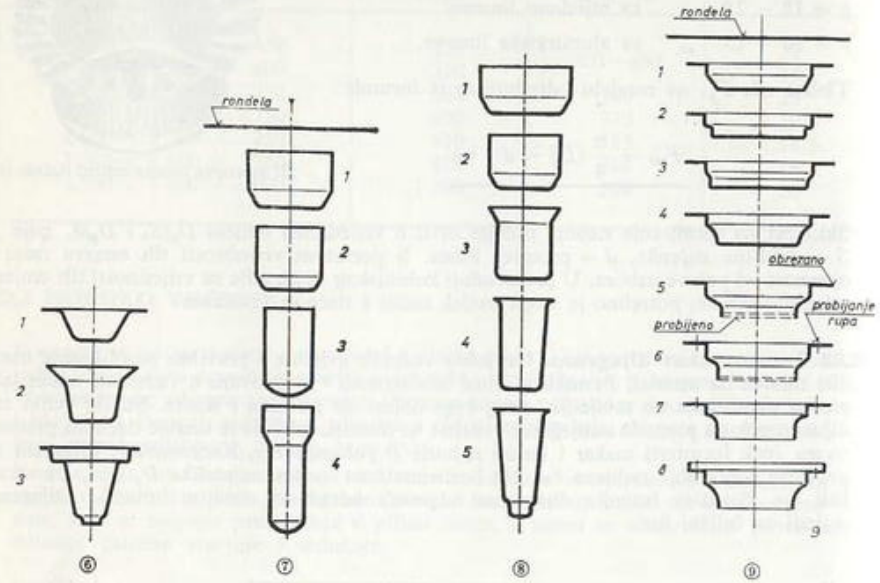


⑤ Stupnjevanje vučenja

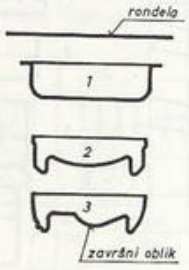
22.33 Stupnjevanje vučenja. Veće razlike u dimenzijama između početne rondele i završnog oblika zahtijevaju višekratno postupno vučenje. U proizvodnji kuhinjskog suda od mekanog čeličnog lima često su potrebna tri do četiri vučenja, u redoslijedu prema ⑤, obično uz ove redukcije promjera:

$$D_1 = 0{,}6\,D_0, \qquad D_2 = 0{,}8\,D_1, \qquad D_3 = 0{,}8\,D_2, \qquad D_4 = 0{,}8\,D_3.$$

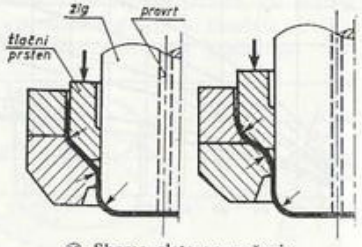
Prva redukcija promjera iznosi, dakle, 40%, a ostale oko 20%. Zbog očvršćenja i otvrdnuća koje se pri tome javlja broj vučenja uz te redukcije bez omekšavanja materijala ograničen je na ukupno 4—5 vučenja, što svakako ovisi o početnom stanju materijala, o njegovoj strukturi, o finoći zrna te o količini troske. Mekani čelici s $\leqq 0{,}06\%$ ugljika* su s toga stajališta vrlo prikladni. Složeni oblici zahtijevaju postepenije vučenje, odnosno znatno veći broj vučenja, kako pokazuju primjeri na ⑥ do ⑩.



⑥, ⑦, ⑧, ⑨ i ⑩ Složeni oblici zahtijevaju postepenije vučenje



⑩

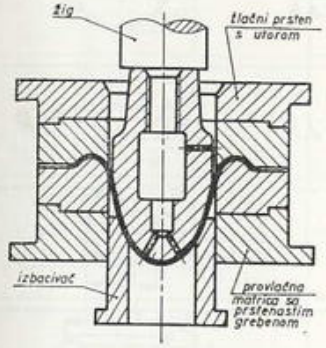


⑪ Shema alata za vučenje

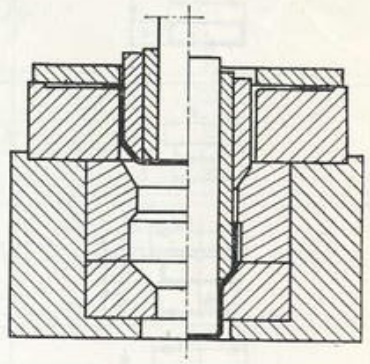
22.34 Skice alata. ⑪ pokazuje shemu alata za drugo i za ostala vučenja, i to u dvije varijante: s koničnim i sa zaobljenim prijelazima od većeg ulaznog na manji izlazni promjer. ⑫ pokazuje skicu alata za drugo vučenje automobilskih farova, polazeći od sferičnog

* O čeličnim limovima za duboko vučenje, njihovoj klasifikaciji, kemijskom sastavu, mehaničkim svojstvima, kvaliteti površine, kontroli i ispitivanju, toleranciji dimenzija, pakovanju i dr. vidi: JUS C.B4.016, 4.112 i 4.113-II 1962. DIN 1623, 1624.

oblika s prirubnicom, dobivenog pri prvom vučenju rondele. Ulazni prstenasti greben služi za čvrsto držanje i osigurava dobivanje završnog oblika bez gužvanja i nabora. ⑬ pokazuje skicu tzv. tandem-alata, kojim se u jednom hodu, polazeći od rondele,

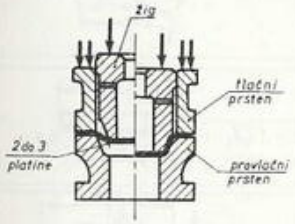


⑫ Shema alata za drugo vučenje automobilskih farova

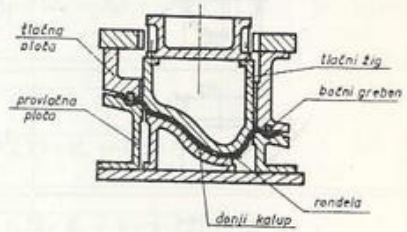


⑬ Shema tandem-alata

izvode jedna iza druge tri operacije vučenja. ⑭ pokazuje skicu alata za istodobno vučenje 2—3 rondele, što se ponekad primjenjuje u proizvodnji suda od tankog lima. Taj način ne samo da ubrzava proizvodnju već u stanovitoj mjeri i snizuje opasnost od stvaranja nabora. ⑮ pokazuje alat za vučenje automobilskih blatobrana. Pri vučenju



⑭ Alat za istodobno vučenje više rondela



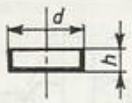
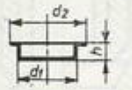
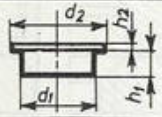
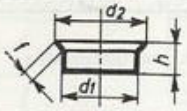
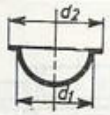
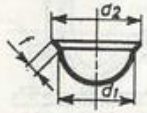
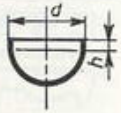
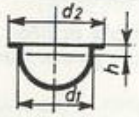
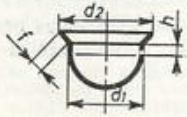
⑮ Alat za vučenje automobilskih blatobrana

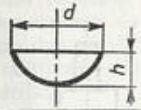
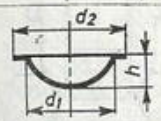
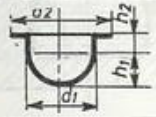
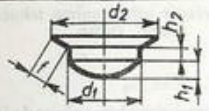
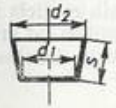
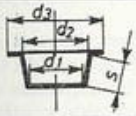
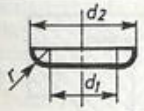
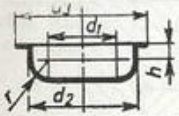
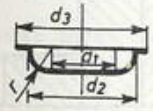
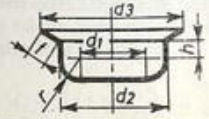
takvih nepravilnih oblika razdioba je pritisaka tlačnog prstena prilično nejednolika pa stoga na mjestima gdje je potrebno spriječiti prejako uvlačenje platine stavljamo posebne grebene (rebra) i utore, koji djeluju poput kočnice.

22.35 Određivanje promjera rondele. U tablici 1. sabrane su formule za brzo izračunavanje promjera rondele D_0 za niz najčešćih okruglih duboko vučenih oblika od tankog lima.

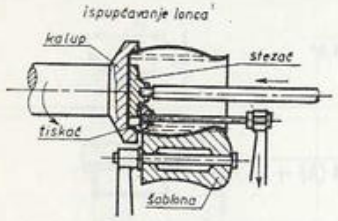
Formule za izračunavanje promjera rondele

Tablica 1.

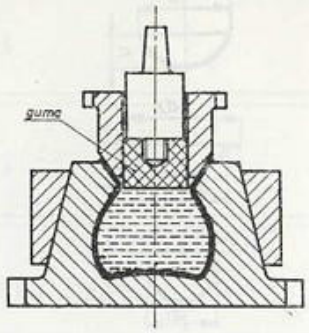
Oblik	ø rondele D_0
	$\sqrt{d^2 + 4\,d\,h}$
	$\sqrt{d^2 + 4\,d_1\,h}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4\,(d_1\,h + d_2\,h_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 4\,d_1\,h + 2\,f\,(d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{2\,d^2} = 1{,}414\,d$
	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$
	$1{,}414\,\sqrt{d_1^2 + f\,(d_1 + d_2)}$
	$1{,}414\,\sqrt{d^2 + 2\,d\,h}$
	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4\,d_1\,h}$
	$1{,}414\,\sqrt{d_1^2 + 2\,d_1\,h + f\,(d_1 + d_2)}$

Oblik	ø rondele D_0
	$\sqrt{d^2 + 4\,d\,h^2}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4\,h^2}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4\,(h_1^2 + d_1\,h_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 4\,[h_1^2 + d_1\,h_2 + f/2\,(d_1 + d_2)]}$
	$\sqrt{d_1^2 + 2\,s\,(d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 2\,s\,(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6{,}28\,r\,d_1 + 8\,r^2}$ ili $\sqrt{d_2^2 + 2{,}28\,r\,d_2 - 0{,}56\,r^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6{,}28\,r\,d_1 + 8\,r^2 + d_3^2 - d_2^2}$ ili $\sqrt{d_3^2 + 2{,}28\,r\,d_2 - 0{,}56\,r^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6{,}28\,r\,d_1 + 8\,r^2 + 4\,d_2\,h + d_3^2 - d_2^2}$ ili $\sqrt{d_3^2 + 4\,d_2\,(0{,}57\,r + h) - 0{,}56\,r^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6{,}28\,r\,d_1 + 8\,r^2 + 4\,d_2\,h + 2\,f\,(d_2 + d_3)}$ ili $\sqrt{d_2^2 + 4\,d_2\,(0{,}57\,r + h + f/2) + 2\,d_3\,f - 0{,}56\,r^2}$

22.36 Ispupčenje izvučenih predmeta. Ispupčeni oblici, kao, na primjer, čuturice, vrčevi, vaze, ukrasni sportski pokali iz tankog lima i sl. rade se tako da se duboko izvučeni cilindrični oblici ispupčavaju na način pokazan na ⑯, tj. tiskanjem stijenke plašta rotirajućeg suda uz šablonu, ili na način pokazan na ⑰. Umjesto tekućine rado se upotrebljava sitna sačma, a za plitka ispupčavanja i guma.

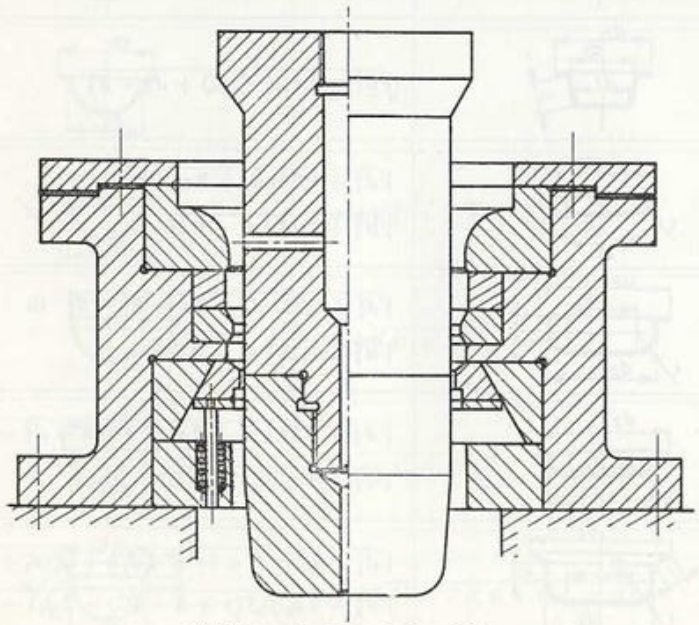


⑯ Ispupčavanje tiskanjem stijenke plašta



⑰ Ispupčavanje utiskivanjem tekućine, sačme, gume

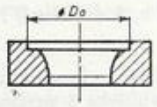
22.37 Vučenje sa stanjenjem stijenke. Postupak se primjenjuje u proizvodnji čahura, boca i njima sličnih oblika. Polazi se od relativno debelostijenih rondela tako da vrijednost omjera D_0 iznosi obično ispod 25. Zbog toga nema opasnosti od stvaranja nabora i ne treba tlačnog prstena. U prvoj operaciji tlačni žig oblikuje debelostijenu rondelu



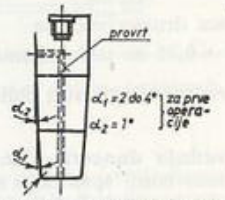
⑱ Alat za vučenje stanjenjem stijenke

u plitko čanče, kojem se u slijedećim operacijama provlačenjem kroz matrice sve manjih promjera stijenka plašta postepeno stanjuje, a duljina povećava. ⑱ pokazuje izgled takvog alata za dvije operacije: prvo formiranje čančeta iz rondele i zatim njegovo provlačenje u svrhu stanjenja stijenke plašta. Jako stanjenje te stijenke, npr. kod topovskih čahura, zahtijeva šest do osam provlačenja, što se provodi u tri do četiri posebna alata, u svakom po dva provlačenja. Prejako očvršćenje materijala, koje se javlja pri hladnom postupku, zahtijeva prekid rada i uključivanje međužarenja u svrhu omekšavanja otvrdnulog materijala.

Formiranje rondele u oblik čančeta teška je operacija preoblikovanja, koja uspijeva u hladnom stanju samo ako je materijal dovoljno dobre plastičnosti, kao što su, na primjer, mjedi sa 70—72% Cu, mekani čelici sa $\leqq 0{,}10\%$ C, aluminij i samo neke aluminijske legure. Sigurniji uspjeh uz manje škarta postiže se ako se umjesto kružnog zaobljenja ulaznog ruba matrice upotrijebi zaobljenje po tzv. traktriks-krivulji, koja ima stanovite tehnološke prednosti, ali daje provlačnoj matrici nešto veću visinu ⑲. Prethodno fosfatiranje čeličnih rondela u svrhu dobivanja podloge uz koju će mazivo puno bolje prianjati i ostajati na metalu unatoč visokim specifičnim pritiscima također je važan uvjet



⑲ Provlačna matrica s traktriks-krivuljom



⑳ Žig za proizvodnju čahura

za uspješno preoblikovanje. Važnu ulogu ima i pravilno oblikovanje tlačnih žigova za vučenje. Po obliku žig može biti cilindričan i koničan. Za proizvodnju čahura profil je žiga obično sastavljen od dva konusa ⑳. Prvi prednji konus treba da dade nešto ojačani prijelaz plašta u dno čančeta, što će povisiti i mehaničku otpornost danceta. Drugi, manji konus treba da olakša skidanje čahure sa žiga. Kut konusa na prvom žigu α_1 odabire se oko 3°, a na slijedećim žigovima za daljnja provlačenja taj je kut sve manji. Kut drugog konusa α_2 je za prvu operaciju vučenja svega 1°, a za slijedeće operacije sve je manji. Promjeri žigova se pri višekratnom provlačenju malo mijenjaju, i to tako da svaki slijedeći bude za 0,1 do 0,3 mm manjeg promjera. Ta mala razlika dovoljna je da olakša ulaženje slijedećeg žiga. Duljina slijedećih žigova raste razmjerno prema stanjenju stijenki plašta. Radijus zaobljenosti žiga za prvo oblikovanje odabire se ovisno o debljini rondele s te iznosi:

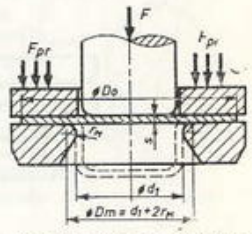
$$r = 1{,}3\,s \text{ do } 1{,}4\,s \text{ za čelične rondele}$$

$$r = 1{,}0\,s \text{ za mjedene rondele.}$$

Probušivanje žigova olakšava skidanje čahure sa žiga, a treba da spriječi i ispupčavanje danceta.

22.38 Određivanje sile deformacije. Pri dubokom vučenju rondele kroz alat s tlačnim prstenom prema ㉑ ta se sila određuje iz izraza:

$$F = d_1 \pi s \left[\left(k \ln \frac{D_0}{D_m} + \frac{2\,\mu F_{pr}}{D_m \pi s} \right) \cdot e^{1{,}57\mu} + k \frac{s}{2 r_M + s} \right]$$



㉑ Alat s tlačnim prstenom za duboko vučenje

Za veličinu k treba odabrati srednju vrijednost, to jest $k = \frac{1}{2}(k_0 + k_1)$, gdje je k_0 na početku, a $k_1 > k_0$ nakon vučenja zbog očvršćenja materijala. Za k_0 može se uzeti vrijednost za granicu popuštanja σ_p, k_1 ovisi o stupnju izvedene deformacije te se odabire iz krivulja očvršćenja za dotični materijal. Koeficijent je trenja $\mu \approx 0{,}15$. Pri radu bez upotrebe tlačnog prstena $F_{pr} = 0$, pa stoga otpada drugi član u okrugloj zagradi. Treći član u zagradi je relativno najmanji, ako je, naime, r_M dovoljno velik pa se može zanemariti.

Sila F može se brže odrediti i iz jednostavnog približnog izraza koji vrijedi za okrugle i za ovalne oblike:

$$F = d_1 \pi s \cdot \sigma_m \cdot c_1$$

Pri vučenju tankostijene rondele koeficijent c_1 kreće se najčešće u granicama $c_1 = 0{,}80$ do 1,10.

Za drugo i ostala vučenja okruglih i ovalnih oblika je sila:

$$F = d_2 \pi s \sigma_m \cdot c_2$$

d_2 = ⌀ lonca drugog vučenja

c_2 = 0,60 – 0,95 za tankostijenu robu.

Za prvo vučenje četvrtastih oblika računa se s istim c_1 koji vrijedi i za okrugle oblike.

22.39 Proizvodnja danceta. Dance je odgovorni sastavni element vagonskih i ostalih cisterni, raznovrsnih spremnika za potrebe naftne, kemijske i prehrambene industrije, kotlovskih bojlera, raznih kuhala i dr. Prema JUS M.E0.020, 021 i 022 razlikujemo po obliku ravna i bombirana danceta ㉒, koja se proizvode preoblikovanjem okrugle rondele. To se preoblikovanje izvodi u hladnu, a kod većih debljina limova i u toplu stanju.

Hladno oblikovanje ima svakako praktički važne prednosti.

Razlikujemo nekoliko načina u izradi danceta. Jedan od njih je onaj pomoću dubokog vučenja rondele kroz alat s tlačnim prstenom ili bez njega ㉓.

Tlačni prsten je pri izradi čeličnih danceta neophodan ako je:

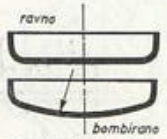
$$\frac{S}{D_0} \cdot 100 \leq 4{,}5 \cdot \left(1 - \frac{d}{D_0}\right)$$

gdje je

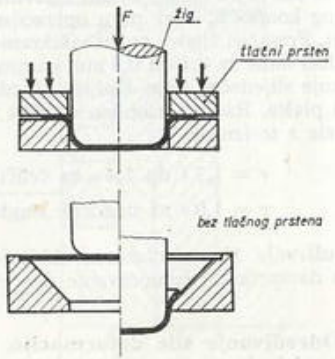
S = debljina stijenke u mm

D_0 = promjer rondele u mm

d = promjer gotova danceta.



㉒ Oblik danceta



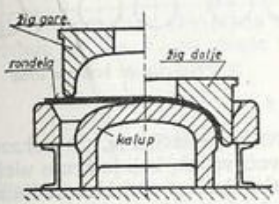
㉓ Proizvodnja danceta dubokim vučenjem

Plitka i debelostijena danceta malog promjera daju se, prema tome, uspješno izraditi u alatu bez tlačnog prstena.

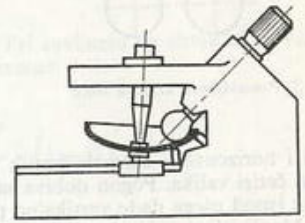
Upotrijebi li se, međutim, vučenje danceta na alatu prema ㉓, tada se može uspješno raditi bez tlačnog prstena tako dugo doklegod bude:

$$\frac{S}{D_0} \cdot 100 \geq 1{,}7 \cdot \left(1 - \frac{d}{D_0}\right)$$

Ipak, i taj način zahtijeva za veća danceta teške i skupe kalupe, koji će biti relativno slabo iskorišteni zbog obično premalog broja danceta koje treba izraditi. Neophodno je stoga pronaći rentabilnije postupke izrade, od kojih navodimo slijedeći kao praktički osobito interesantan.



㉓ Vučenje danceta na kalupu



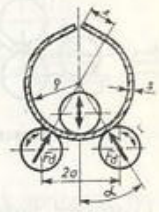
㉔ Stroj za savijanje bombiranih danceta

Radi li se o proizvodnji bombiranih danceta, tada se najprije izvodi na posebnom stroju bombiranje rondele na zadani radijus zakrivljenosti. Tako bombirana rondela se zatim na posebnom stroju pritegne kako je pokazano na ㉔ i pomalo, ali kontinuirano po opsegu presavija u oblik plitkog plašta, i to pomoću rotirajućeg kugličastog alata s unutrašnje strane i dva poduporna valjka s vanjske strane. Strojevi za te svrhe grade* se za promjere danceta do 5 m i debljine limova do 30 mm.

22.4 SAVIJANJE

Razlikujemo dva načina savijanja: kružno i profilno-ugaono.

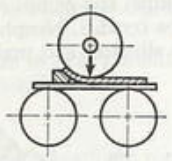
22.41 Kružno savijanje primjenjuje se za savijanje limova, traka, šipki, uglovnica, cijevi pri gradnji kotlovnih bojlera, vagonskih i ostalih cisterni, spremnika, kuhala i dr. Okruglo savijanje limova i traka izvodi se na strojevima – savijalicama s valjcima odgovarajućih promjera i duljina. Prema broju valjaka najčešće se upotrebljavaju strojevi sa tri i sa četiri valjka. ① pokazuje načela rada na stroju sa tri valjka, i to dva donja gonjena i jedan nešto veći gornji valjak, koji nema pogona i koji se dade vertikalno premještati. Savijanje lima na završni promjer često se izvodi postepeno u većem broju prolaza kroz valjke, pri čemu se nakon svakog prolaza gornji valjak spušta i približuje donjim valjcima, da bi se u slijedećem prolazu dobio manji promjer. Pri tom postupku ostaju krajevi lima na nekoj duljini x ravni, tj. nesavinuti, što bi zahtijevalo naknadnu obradu.



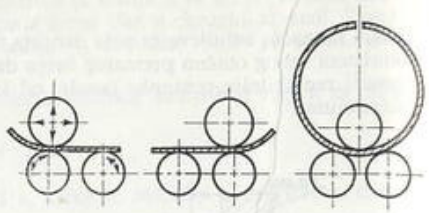
① Savijanje

* Na primjer R. Boldrini, Milano.

Duljina x približno je jednaka polovini razmaka donjih valjaka. Da se to izbjegne, potrebno je krajeve lima prije puštanja kroz valjke presavinuti na način pokazan na ②. Postoje, međutim, izvedbe strojeva s poprečno premjestivim gornjim valjkom ③, koje omogućuje to presavijanje krajeva, kao i izvedbe ④ kod kojih se dade mijenjati relativan

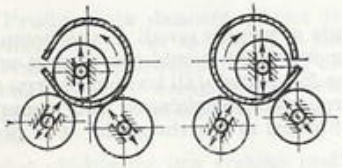


② Presavijanje krajeva lima

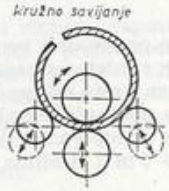


③ Presavijanje krajeva lima

visinski i horizontalni razmak donjih valjaka u svrhu presavijanja. ⑤ pokazuje shemu stroja sa četiri valjka. Pogon dobiva samo gornji veći valjak, koji je kruto uležišten, dok se valjak ispod njega dade vertikalno premještavati i služi za natiskivanje lima na gornji valjak. Manji lijevi i desni valjak dadu se premještati u smjeru označenom strelicama.



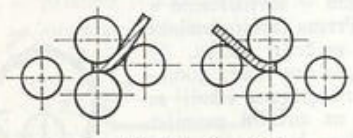
④ Strojevi za presavijanje premjestivim valjcima



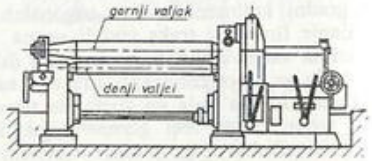
⑤ Kružno savijanje

Najprije se provede presavijanje obaju krajeva lima na način prema ⑥ pa se zatim po stepeno savija i završni promjer.

Vađenje savinutog plašta iz stroja zahtijeva skidanje prednjeg ležaja gornjeg valjka, što se olakšava odgovarajućom zakretljivom konstrukcijom ležišta.



⑥ Presavijanje krajeva lima



⑦ Stroj za savijanje sa četiri valjka

Ti strojevi služe i za savijanje limova i traka u oblik koničnih plašteva.

⑦ pokazuje u uzdužnom smjeru izgled stroja sa četiri valjka, a tablica 1. daje osnovne podatke za tri različite veličine tih strojeva.

Osnovni podaci strojeva za savijanje Tablica 1.

Radna duljina valjka mm	2 500	2 500	3 000
Debljina lima ($\sigma_m = 40$ kp/mm²)	16	24	25
Promjer donjeg i gornjeg valjka	330	410	430
Najmanji promjer izvaljanog plašta	450	550	600
Obodna brzina radnog valjka m/min	4,7	4,6	5
Snaga elektro-motora kW	18	25	30

22.411 Sile i momenat savijanja na valjku. Pri savijanju na stroju sa tri valjka prema ① određuje se sila F_d na donje valjke iz izraza:

$$F_d = 0{,}2\,\sigma_m \cdot \frac{b\left(1+\frac{r}{\rho}\right)s^3}{a} \cdot \left(1 - 0{,}85\,\frac{\sigma_m^2}{s^2}\frac{\rho^2}{E^2}\right)$$

σ_m = čvrstoća

Drugi član u zagradi je često relativno malen i može se zanemariti.

Na gornji valjak djeluje sila:

$$F_g = 2 \cdot F_d \cdot \cos\alpha.$$

Moment savijanja određuje se iz izraza:

$$M = \frac{1}{2} F_d \cdot \rho \sin 2\alpha.$$

22.412 Najveća debljina lima s koji se još može savijati na zadanom stroju. Prijelazom na manje širine istog lima b može se za isto opterećenje valjaka povećati debljina lima s. Najveća debljina s_2 do koje se može ići, određuje se iz izraza:

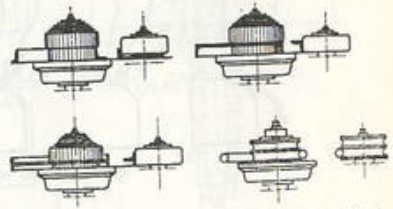
$$s_2 = s_{max} = s_1 \sqrt{\frac{b_1\,(2\,l - b_1)}{b_2\,(2\,l - b_2)}}$$

Ovdje je

l = duljina valjaka između ležišta

s_1 = debljina lima za širinu lima b_1

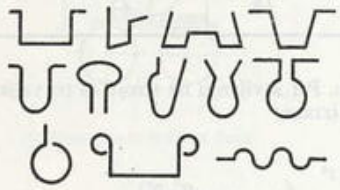
$s_2 > s_1$ = debljina lima za manju širinu $b_2 < b_1$.



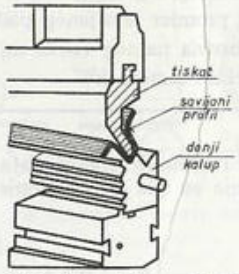
⑧ Kružno savijanje profila, šipki, cijevi

22.42 Kružno savijanje profila, šipki i cijevi izvodi se na strojevima sa tri valjka, u kojima su predviđeni odgovarajući utori, kako se vidi na slijedeća četiri primjera na ⑧. Valjci su izmjenljivi i uzduž osi premjestivi, kako to zahtijeva oblik savijenog profila. Osi valjaka mogu biti horizontalne i vertikalne. Za savijanje kutnih profila 60 × 60 × 6 do 100 × 100 × 14 mm. U profila NP 8 do 16, te cijevi ⌀ 48–90 mm brzine savijanja na tim strojevima iznose od 4 do 6 m/min, a snage elektro-motora od 4 do 9 kW.

22.43 Profilno savijanje. Radi se o presavijanju trake na oblike ⑨, potrebne u građevinarstvu, građevnoj bravariji, strojogradnji i brodogradnji, u pojedinačnim duljinama do pet i više metara, iz lima debljine od 2 do 20 i više mm. Postupak se sastoji u postepenom presavijanju trake od završnog profila. Pokretni alat-tiskač utiskuje traku u donji kalup ⑩ i time izvodi određeno oblikovanje u obliku oštrog presavijanja, zaobljavanja, ovijanja, sabijanja, zatvaranja i dr.

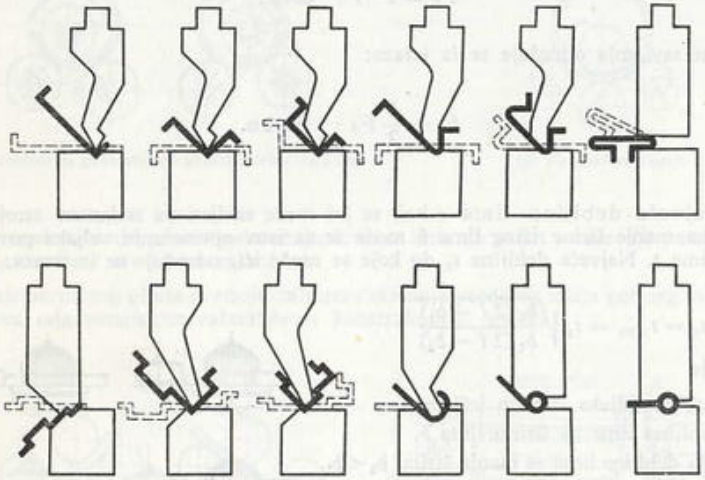


⑨ Profilno savijanje



⑩ Stroj za profilno savijanje

⑪ pokazuje na četiri primjera redoslijed operacija pri tom postupku. Postupak se provodi na mehaničkim koljenastim prešama, gdje dva osna koljena vertikalno pokreću dobro vođenu ploču s alatom za tiskanje. Te se preše grade za duljine do 6 metara i za pritiske do 600 Mp.

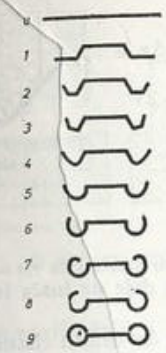


⑪ Redoslijed operacija za profilno savijanje

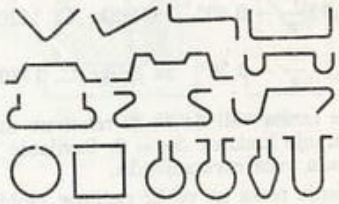
22.44 Proizvodnja profila iz traka pomoću valjanja

Proizvodnja tankostijenih profila za potrebe građevne bravarije, za industriju metalne robe i pokućstva u većim količinama i u većim dužinama pojedinih šipki rentabilno se provodi pomoću kontinuiranog hladnog valjanja trake na stroju s većim brojem pari horizontalnih valjaka poredanih u seriji i povezanih preko prijenosnih zupčanika sa

zajedničkim elektro-motorom. Svaki par valjaka obavlja samo određenu operaciju presavijanja, koje mora ići dovoljno postepeno. Važno je da brzine prolaza materijala kroz pojedine parove valjaka budu međusobno dobro ujednačene. ⑫ pokazuje postepenost preoblikovanja trake na prolazu kroz devet pari valjaka do završnog izlaznog profila. Postupak se primjenjuje za trake debljine do 2 mm. Svaki pojedini valjak sastavljen je od centralnog dijela i periferijskih izmjenljivih prstena, s urezanim kalibrima za različite profile.



⑫ Postepenost preoblikovanja trake

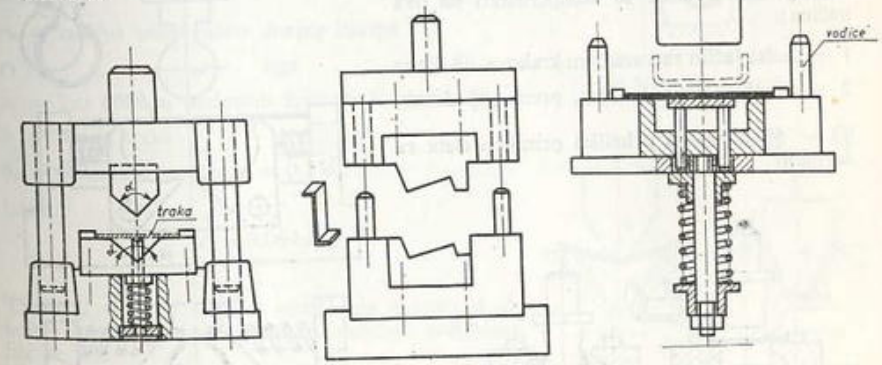


⑬ Primjeri velikoserijske proizvodnje

22.45 Alati za savijanje

Posebnu skupinu čine alati za velikoserijsku proizvodnju razno oblikovanih artikala prema ⑬ iz tankog lima. Polazni oblik je traka lima odgovarajuće širine i dužine. Do završnog oblika dolazi se kod složenijih oblika postepenim savijanjem trake u više operacija, koje se nastoje provesti u istom alatu, no to nije uvijek izvedivo.

⑭—⑯ pokazuju čest izgled alata za ugaono presavijanje trakastih odrezaka. Graničnici na alatu osiguravaju pravilan smještaj trake. Njeno klizanje za vrijeme savijanja sprečava nazubljeni vrh izbacivača.



⑭, ⑮ i ⑯ Alati za ugaono presavijanje

Zbog elastičnog vraćanja krakovi izvađenog *V*-profila zatvaraju nešto veći kut α' ⑰ nego što je kut α na alatu. Da bismo dobili krakove pod kutom α, savinut ćemo ih pod nešto manjim kutom $\alpha - \Delta\alpha$, gdje je $\Delta\alpha = \alpha' - \alpha$. Spomenuto elastično otvaranje profila

$\Delta\alpha$ općenito je ovisno o vrsti deformiranog materijala, o radijusu zaobljenosti vrha žiga te o veličini kuta α. Znače li

r = radijus zaobljenosti vrha žiga

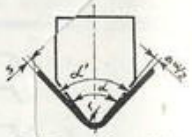
s = debljinu lima

tada se za $\alpha = 90°$ može računski odrediti otvaranje krakova $\Delta\alpha$ iz

$$\Delta\alpha = 0{,}43\,\frac{r}{s} - 0{,}61° \quad \text{za mekani čelik Č. 1120 i Č. VII–23}$$

$$\Delta\alpha = 0{,}43\,\frac{r}{s} - 0{,}40° \quad \text{za čelike Č. 1220}$$

$$\Delta\alpha = 0{,}78\,\frac{r}{s} - 0{,}79° \quad \text{za čelike Č. 1330 i Č. 1430.}$$



⑰ Kutovi V-profila i alata

Iz tih se izraza vidi da će za relativno malene radijuse zaobljenosti i za $r/s = 1$ do 1,5 biti otvaranje krakova $\Delta\alpha = 0$. Savijanje za manje kutove α daje uz inače iste ostale uvjete rada veća otvaranja $\Delta\alpha$.

Pri savijanju traka uz velike radijuse zaobljenosti je otvaranje $\Delta\alpha$ uslijed elastičnog vraćanja znatno i može se odrediti iz izraza:

$$\Delta\alpha = (180 - \alpha) \cdot \left(\frac{r_0}{r} - 1\right),$$

gdje je r_0 = radijus zaobljenosti na savinutom predmetu

r = „ „ na vrhu žiga.

⑱ Kompenzacija otvaranja krakova bombiranjem danceta

Radijus zaobljenosti žiga r određuje se iz izraza:

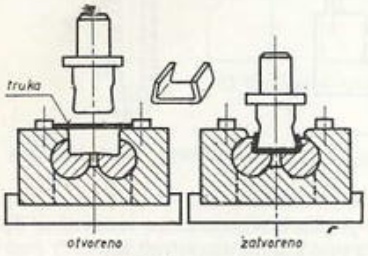
$$r = \frac{r_0}{1 + 3\,\frac{r_0 \sigma_p}{s \cdot E}}$$

Otvaranje krakova pri savijanju U profila na alatu prema ⑱ dade se kompenzirati na dva načina:

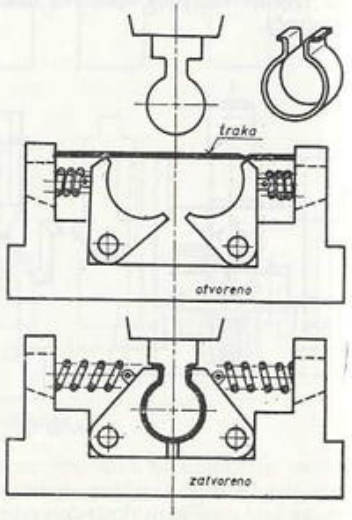
1 — nešto jačim zatvaranjem krakova, ⑱ lijevo

2 — bombiranjem danceta, prema ⑱ desno.

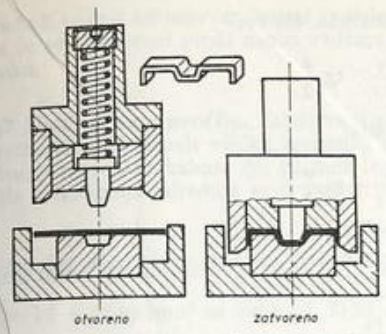
⑲ — ㉒ pokazuju nekoliko primjera alata za savijanje.



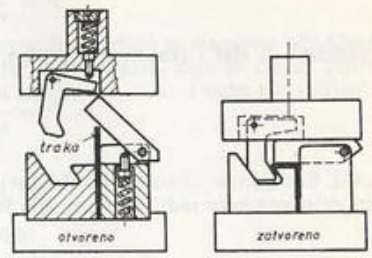
⑲ Alati za savijanje



⑳ Alati za savijanje



㉑ Alati za savijanje



㉒ Alati za savijanje

22.46 Sile savijanja

Razlikujemo tzv. slobodno savijanje, pri kojem je vanjska (donja) površina savijene trake samo na uskim površinama podupore u dodiru s donjim kalupom, i savijanje u kalupu, pri kojem i veće površine kalupa dolaze u dodir s trakom.

22.461 Savijanje V-profila. Zbog zaobljenosti ulaznih bridova kalupa smanjuje se općenito razmak podupora l tokom spuštanja tlačnog žiga. Ako je taj razmak bio pri savijanju V-profila na početku savijanja jednak l_0 ㉓, tada se sila F za slobodno savijanje V-profila određuje iz izraza:

$$F = \frac{b\,s^2\,\sigma_p \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{l_0 - 2\,(r_k + r_z + s)\cos\frac{\alpha}{2}},$$

gdje je

r_k = radijus zaobljenosti donjeg kalupa

r_z = „ „ žiga

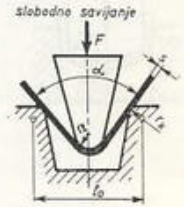
α = kut između savinutih krakova V-profiila

b = širina trake

σ_p = granica popuštanja $\approx 0{,}8\,\sigma_m$

izlazi:

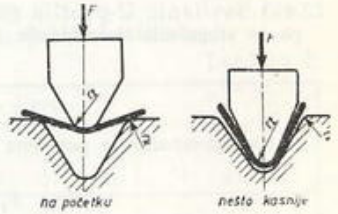
$$F = 0{,}06\,b\,s\,\sigma_m$$



㉓ Slobodno savijanje

Treba li uzeti u obzir i očvršćenje materijala, do kojeg dolazi za relativno malene radijuse zaobljenja, bit će sila:

$$F = 0{,}1\,b\,s\,\sigma_m.$$



㉔ Savijanje profila na početku i kasnije

Pri savijanju V-profila u kalupu mijenja se tokom rada s krakom savijanja i sila savijanja ㉔:

$$F = \frac{b\,s^2 \cdot \sigma_p}{2\,(r_z + 0{,}5\,s)} \cdot \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = 0{,}5\,\frac{b\,s^2\,\sigma_p}{r_z + 0{,}5\,s} \cdot \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$$

Treba li i ovdje uzeti u obzir očvršćenje materijala, bit će:

$$F = \frac{0{,}8\, b\, s^2\, \sigma_p}{r_ž + 0{,}5\, s} \cdot \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$$

Sadržava li alat i izbacivač s perom, bit će sila:

$$F = \frac{b\, s^2 \cdot \sigma_p}{r_ž + 0{,}5\, s} \cdot \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$$

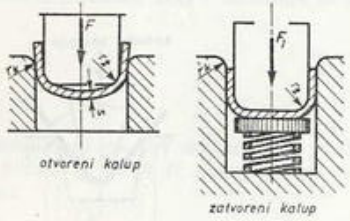
22.462 Savijanje ⊔-profila. Za savijanje pravokutne trake u otvorenom kalupu ㉕ uz relativno veće radijuse r_k, $r_ž$ sila je:

$$F = \frac{b\, s^2\, \sigma_p}{r_k + r_ž + s}$$

Za savijanje istog profila u zatvorenom kalupu s ugrađenim izbacivačem sila deformacije je:

$$F = \frac{1{,}4\, b\, s^2\, \sigma_m}{r_k + r_ž + s},$$

gdje je uzeto u obzir jače očvršćenje hladno oblikovanog materijala, savijanog uz relativno male radijuse r_k, $r_ž$ (na pr. r_k/S i $r_ž/S$ samo 1,5 do 2,0).
Zbog izbacivača bit će ukupna sila F_1 otprilike za 25% veća, tj. $F_1 = 1{,}25\, F$.



㉕ Savijanje U-profila

㉖ Savijanje U-profila velikog radijusa

22.463 Savijanje U-profila ㉖. Radi se o savijanju uz relativno velik radijus žiga $r_ž$ pa se stoga sila deformacije F računa prema izrazu:

$$F = \frac{0{,}8 \cdot b\, s^2\, \sigma_p}{r_ž + r_k + s}$$

U slučaju izbacivača potrebna je za 20–30% veća sila:

$$F_1 = 1{,}25\, F = \frac{b\, s^2\, \sigma_p}{r_ž + r_k + s}$$

Pri savijanju profila treba računski provjeriti da li je radijus žiga $r_ž$ dovoljno malen da bi se u vanjskim zonama presjeka savinute trake pojavila naprezanja dovoljno visoka za trajne plastične deformacije. U tu svrhu mora, naime, biti:

$$r_ž < \frac{s \cdot E}{2\, \sigma_p}$$

Bude li $r_ž$ veći od tako izračunate vrijednosti, materijal će biti napregnut samo elastično pa će se oblikovani profil nakon vađenja iz kalupa ispružiti i vratiti u prvobitnu ravnu traku.

22.47 Kalibriranje profila. Zahtijeva li se poravnavanje površine te stanovito očvršćenje materijala i ukrućenje oblika savinutog profila, tzv. kalibriranje, koje se izvodi zaprešavanjem profila u kalupu ㉑, ㉒, tada je potrebna znatno veća sila od same sile savijanja. Sila kalibriranja određuje se iz izraza:

$$F = p \cdot A$$

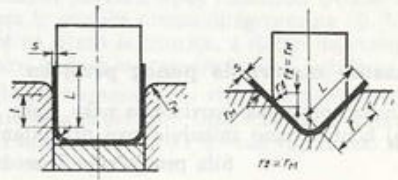
Vrijednosti za specifičan pritisak p iznose najmanje:

$p = 10 - 15$ kp/mm² za čelik Č. 1120 do Č. 1220
$p = 15 - 20$ „ za čelik Č. 1330 do Č. 1440
$p = 5 - 8$ „ za aluminij
$p = 10 - 15$ „ za mjedi.

Niže vrijednosti odabiru se za debljine limova ispod 3 mm a veće za limove debljine 6 do 10 mm.
Kod kosih površina uzima se za A njihova horizontalna projekcija.

22.48 Podaci o dimenzioniranju kalupa za savijanje V-profila i ⊔-profila

Znači li L = dužina krakova profila u mm, tada dimenzije l ㉗, i radijusi zaobljenosti r_M ovise o debljini stijenke s i o dužini krakova L, kako to pokazuje tablica 2.



㉗ Dimenzioniranje kalupa za savijanje

Ovisnost dimenzija kalupa za savijanje o debljini stijenke

Tablica 2.

Dužina L mm	Debljina stijenke s u mm							
	Ispod 1 mm		1–2 mm		3–4 mm		5–7 mm	
	l	r_M	l	r_M	l	r_M	l	r_M
20	8–10	3	12	4	15	5	20	8
35	12	4	15	5	20	6	25	8
50	15	5	20	6	25	8	30	10
75	20	6	25	8	30	10	35	12
100	–	–	35	12	40	15	50	15
150	–	–	35	12	40	15	50	20

Zračnost z između kalupa i žiga određuje se kod kalupa za ⌴-profile prema izrazu:

$$z = 1{,}1 \cdot S_{max}$$

gdje je

S_{max} = najveća debljina stijenke = $S + \Delta S$ za dotičnu nominalnu debljinu S prema standardu.

22.5 PROVLAČENJE

22.51 Upotreba. Proizvodnja šipki, profila, traka, cijevi, boca i žice obilato se služi tehnikom provlačenja, i to općenito u svrhu:

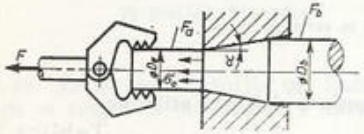
1 — promjene prvobitnog presjeka, promjera, debljine stijenki pa i promjene prvobitnog oblika presjeka
2 — postizavanja materijala veće glatkoće površine, točnijih dimenzija i užih tolerancija
3 — dobivanja materijala relativno sitnog presjeka, npr. žice i tankostijenih profila, koji se upravo zbog svoje sitnoće ili tanke stijenke ne bi mogao nekim drugim načinom rentabilno proizvoditi.

Provlačenje se općenito može provoditi u hladnu i u toplu stanju. Pri hladnu provlačenju dolazi redovito i do izvjesnog povećanja čvrstoće i tvrdoće te do opadanja istežljivosti materijala.

Praktičare provlačenja prvenstveno zanimaju sile provlačenja, najpovoljniji oblik alata za provlačenje, materijal i trajanje alata, dopuštene najveće pojedinačne i ukupne redukcije presjeka, očvršćenje provlačenog materijala, rentabilne brzine provlačenja te utjecaj i izbor maziva.

22.52 Provlačenje šipkastog materijala punog presjeka

① pokazuje načelnu shemu postupka provlačenja neke šipke koja tokom prolaza kroz provlačni alat (matricu) kontinuirano smanjuje svoj prvobitan presjek.



① Princip rada provlačenja

Sila provlačenja F može se odrediti iz izraza:

$$F = A_a \cdot k \cdot \varphi \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\varphi}\right)$$

gdje je

$\varphi = \ln \frac{A_b}{A_a}$, μ = koeficijent trenja, α = kut provlačenja = nagib izvodnice konusa prema osi matrice.

Za veličinu k može se uzeti približno vrijednost čvrstoće materijala σ_L prije provlačenja. Vidi se da sila F raste s redukcijom presjeka šipke, koeficijentom trenja μ te da ovisi o veličini kuta provlačenja α. Pokusi su pokazali da postoji neki najpovoljniji kut α, za koji će sila F biti najmanja. Taj optimalan kut α može se i računski odrediti. Iz navedenog izraza za silu F dobije se, naime, da je

$$\alpha_{opt} = \sqrt{1{,}5\ \mu \cdot \varphi},$$

ovisan samo o koeficijentu trenja μ i veličini φ, a neovisan o vrsti provlačenog materijala. Veličina tog kuta vrlo često je 5—8°, jedino je pri provlačenju šupljih profila

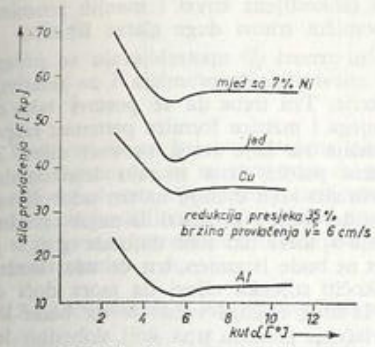
(cijevi) veći i dosiže vrijednosti 10—13°. Iz ②, koja predstavlja rezultate mjerenja za četiri vrste materijala, vidi se također da postoji neki optimalan kut α, za koji je sila provlačenja F najmanja.

Vlačno naprezanje σ_v po poprečnom presjeku šipke na izlazu iz matrice je:

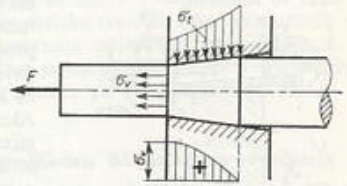
$$\sigma_v = \frac{F}{A_a} = k \cdot \varphi \cdot \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\varphi}\right).$$

Taj se izraz češće daje u obliku omjera:

$$\frac{\sigma_v}{k} = \varphi \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\varphi}\right).$$



② Optimalan kut provlačenja



③ Promjene naprezanja uzduž matrice

Vrijednost tog omjera kreće se u granicama od 0,4 do 0,8. Prevelike vrijednosti treba izbjegavati da ne bi došlo do prečestog kidanja te do nepoželjnog istezanja materijala i nakon prolaza kroz matricu. Uz vlačno naprezanje σ_{v_x} u smjeru osi šipke djeluje i tlačno naprezanje. σ_{t_x} po koničnoj površini šipke i matrice. Oba se naprezanja σ_{v_x} i σ_{t_x} mijenjaju od ulaza do izlaza iz matrice prema dijagramu na ③. Vidi se da je vlačno naprezanje $\sigma_{v_x} = \sigma_v$ najveće na izlazu iz matrice, a tlačno naprezanje σ_{t_x} najveće na ulazu u nju. Najveći σ_t na ulazu otežava u stanovitoj mjeri uvlačenje maziva u matricu.

Izrazi za provlačnu silu F i naprezanje σ_v vrijede u prvom redu za okrugao šipkasti materijal. U slučaju provlačenja neokruglih šipki trebalo bi u izraze za F i σ_v uvesti korekturne koeficijente, koji će dati za 5 do 15% veće vrijednosti za kvadratne i šesterokutne šipke te do 30% veće za široke trake.

22.53 Provlačenje šupljih profila

Od šupljih profila najviše se provlače cijevi, čahure i boce. Provlačenje cijevi provodi se ili slobodno, tj. bez upotrebe trna, ili uz upotrebu odgovarajućeg trna, koji ima ulogu nakovnja i kalibratora za unutrašnji promjer cijevi. Pri provlačenju cijevi bez trna mijenjaju se obično samo promjeri cijevi, dok debljina stijenke ostaje praktički ista. Da li će se mijenjati i debljina stijenke, povećavati ili smanjivati, ovisi općenito o omjeru između tangencijalnog tlačnog naprezanja σ_{t_t} i uzdužnog vlačnog naprezanja σ_{v_l}. Tangencijalno tlačno naprezanje istiskuje, naime metal u radijalnom smjeru pa kako s unutrašnje strane zbog pomanjkanja trna nema protutlaka, dolazi do zadebljanja stijenke. Uzdužno vlačno naprezanje σ_{v_l} isteže materijal stijenke u smjeru provlačenja pa stoga djeluje u smislu stanjenja stijenke. Od ulaznog do izlaznog kraja matrice mijenja se općenito vrijednost omjera $\sigma_{t_t}/\sigma_{v_l}$ pa je stoga moguće da na ulaznoj strani, gdje imamo relativno nizak σ_{v_l} dolazi do zadebljanja, a na izlaznoj do stanjenja stijenke. Provlačenje cijevi bez trna primjenjuje se, dakle, onda kada treba smanjiti samo promjere i kad nas netačnost unutrašnjeg promjera i nedotjeranost unutrašnje površine cijevi ne smetaju. Osim toga, ono se primjenjuje uvijek pri provlačenju cijevi relativno debelih stijenki i malog unutrašnjeg promjera, kao i tankostijenih cijevi sitnih promjera.

Zračnost z između kalupa i žiga određuje se kod kalupa za ⌴-profile prema izrazu:

$$z = 1{,}1 \cdot S_{max}$$

gdje je

S_{max} = najveća debljina stijenke = $S + \Delta S$ za dotičnu nominalnu debljinu S prema standardu.

22.5 PROVLAČENJE

22.51 Upotreba. Proizvodnja šipki, profila, traka, cijevi, boca i žice obilato se služi tehnikom provlačenja, i to općenito u svrhu:

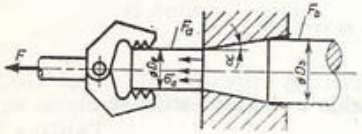
1 — promjene prvobitnog presjeka, promjera, debljine stijenki pa i promjene prvobitnog oblika presjeka
2 — postizavanja materijala veće glatkoće površine, točnijih dimenzija i užih tolerancija
3 — dobivanja materijala relativno sitnog presjeka, npr. žice i tankostijenih profila, koji se upravo zbog svoje sitnoće ili tanke stijenke ne bi mogao nekim drugim načinom rentabilno proizvoditi.

Provlačenje se općenito može provoditi u hladnu i u toplu stanju. Pri hladnu provlačenju dolazi redovito i do izvjesnog povećanja čvrstoće i tvrdoće te do opadanja istežljivosti materijala.

Praktičare provlačenja prvenstveno zanimaju sile provlačenja, najpovoljniji oblik alata za provlačenje, materijal i trajanje alata, dopuštene najveće pojedinačne i ukupne redukcije presjeka, očvršćenje provlačenog materijala, rentabilne brzine provlačenja te utjecaj i izbor maziva.

22.52 Provlačenje šipkastog materijala punog presjeka

① pokazuje načelnu shemu postupka provlačenja neke šipke koja tokom prolaza kroz provlačni alat (matricu) kontinuirano smanjuje svoj prvobitan presjek.



① Princip rada provlačenja

Sila provlačenja F može se odrediti iz izraza:

$$F = A_a \cdot k \cdot \varphi \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\varphi}\right)$$

gdje je

$\varphi = \ln \frac{A_b}{A_a}$, μ = koeficijent trenja, α = kut provlačenja = nagib izvodnice konusa prema osi matrice.

Za veličinu k može se uzeti približno vrijednost čvrstoće materijala σ_L prije provlačenja. Vidi se da sila F raste s redukcijom presjeka šipke, koeficijentom trenja μ te da ovisi o veličini kuta provlačenja α. Pokusi su pokazali da postoji neki najpovoljniji kut α, za koji će sila F biti najmanja. Taj optimalan kut α može se i računski odrediti. Iz navedenog izraza za silu F dobije se, naime, da je

$$\alpha_{opt} = \sqrt{1{,}5\ \mu \cdot \varphi},$$

ovisan samo o koeficijentu trenja μ i veličini φ, a neovisan o vrsti provlačenog materijala. Veličina tog kuta vrlo često je 5—8°, jedino je pri provlačenju šupljih profila

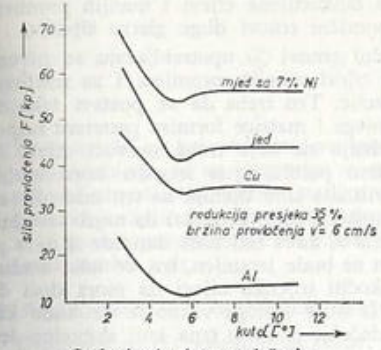
(cijevi) veći i dosiže vrijednosti 10—13°. Iz ②, koja predstavlja rezultate mjerenja za četiri vrste materijala, vidi se također da postoji neki optimalan kut α, za koji je sila provlačenja F najmanja.

Vlačno naprezanje σ_v po poprečnom presjeku šipke na izlazu iz matrice je:

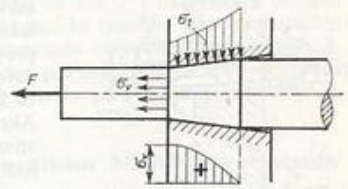
$$\sigma_v = \frac{F}{A_a} = k \cdot \varphi \cdot \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\varphi}\right).$$

Taj se izraz češće daje u obliku omjera:

$$\frac{\sigma_v}{k} = \varphi \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\varphi}\right).$$



② Optimalan kut provlačenja



③ Promjene naprezanja uzduž matrice

Vrijednost tog omjera kreće se u granicama od 0,4 do 0,8. Prevelike vrijednosti treba izbjegavati da ne bi došlo do prečestog kidanja te do nepoželjnog istezanja materijala i nakon prolaza kroz matricu. Uz vlačno naprezanje σ_{v_x} u smjeru osi šipke djeluje i tlačno naprezanje. σ_{t_x} po koničnoj površini šipke i matrice. Oba se naprezanja σ_{v_x} i σ_{t_x} mijenjaju od ulaza do izlaza iz matrice prema dijagramu na ③. Vidi se da je vlačno naprezanje $\sigma_{v_x} = \sigma_v$ najveće na izlazu iz matrice, a tlačno naprezanje σ_{t_x} najveće na ulazu u nju. Najveći σ_t na ulazu otežava u stanovitoj mjeri uvlačenje maziva u matricu.

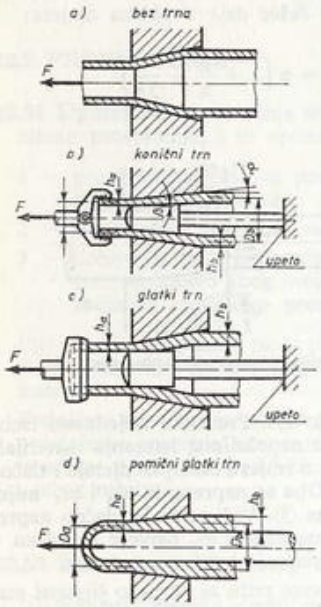
Izrazi za provlačnu silu F i naprezanje σ_v vrijede u prvom redu za okrugao šipkasti materijal. U slučaju provlačenja neokruglih šipki trebalo bi u izraze za F i σ_v uvesti korekturne koeficijente, koji će dati za 5 do 15% veće vrijednosti za kvadratne i šesterokutne šipke te do 30% veće za široke trake.

22.53 Provlačenje šupljih profila

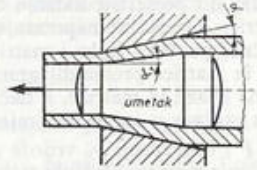
Od šupljih profila najviše se provlače cijevi, čahure i boce. Provlačenje cijevi provodi se ili slobodno, tj. bez upotrebe trna, ili uz upotrebu odgovarajućeg trna, koji ima ulogu nakovnja i kalibratora za unutrašnji promjer cijevi. Pri provlačenju cijevi bez trna mijenjaju se obično samo promjeri cijevi, dok debljina stijenke ostaje praktički ista. Da li će se mijenjati i debljina stijenke, povećavati ili smanjivati, ovisi općenito o omjeru između tangencijalnog tlačnog naprezanja σ_{t_t} i uzdužnog vlačnog naprezanja σ_{v_1}. Tangencijalno tlačno naprezanje istiskuje, naime metal u radijalnom smjeru pa kako s unutrašnje strane zbog pomanjkanja trna nema protutlaka, dolazi do zadebljanja stijenke. Uzdužno vlačno naprezanje σ_{v_1} isteže materijal stijenke u smjeru provlačenja pa stoga djeluje u smislu stanjenja stijenke. Od ulaznog do izlaznog kraja matrice mijenja se općenito vrijednost omjera $\sigma_{t_t}/\sigma_{v_1}$ pa je stoga moguće da na ulaznoj strani, gdje imamo relativno nizak σ_{v_1} dolazi do zadebljanja, a na izlaznoj do stanjenja stijenke. Provlačenje cijevi bez trna primjenjuje se, dakle, onda kada treba smanjiti samo promjere i kad nas netačnost unutrašnjeg promjera i nedotjeranost unutrašnje površine cijevi ne smetaju. Osim toga, ono se primjenjuje uvijek pri provlačenju cijevi relativno debelih stijenki i malog unutrašnjeg promjera, kao i tankostijenih cijevi sitnih promjera.

Pri provlačenju s trnom na proces provlačenja utječe oblik trna te da li on miruje ili je pokretan. Po obliku razlikujemo konične trnove i glatke — cilindrične trnove. Konični trnovi izvode se kao nepokretni, tj. pričvršćeni na upetoj motki i mogu biti bez motke kao tzv. slobodni ili leteći trnovi. Glatki trnovi izvode se također u dvije varijante: kao nepokretni na upetoj motki i kao pokretni, koji putuju kroz matricu zajedno s provlačenim materijalom. ④ pokazuje shematski proces provlačenja bez trnova i s njima. Za provlačenje cijevi srednjih veličina najčešće se upotrebljavaju glatki nepomični trnovi; za provlačenje boca i čahura služe pomični glatki trnovi, a za tankostijene cijevi i manjih promjera služe kao pomični trnovi duge glatke šipke.

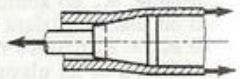
Leteći konični trnovi ⑤ upotrebljavaju se prvenstveno kod cijevi manjih promjera i za relativno manje redukcije. Trn treba da se postavi tako da se između njega i matrice formira prstenast raspor takvih dimenzija na koje treba provući cijev. Za takav određeni položaj trna moraju horizontalne projekcije svih sila koje djeluju na trn udovoljavati uvjetu ravnoteže. Odatle proizlazi da nagib izvodnice konusa trna α_1 mora biti tolik da bude $\operatorname{tg}\alpha_1 > \mu$. Ako taj uvjet ne bude ispunjen, trn će tako snažno stisnuti i zakočiti stijenku cijevi da mora doći do loma cijevi. Iz istog razloga važno je da bude kut $\alpha_1 \leqq \alpha$. Provlačenje pomoću trna koji slobodno leti novijeg je datuma i unatoč praktičkim prednostima manje je uvedeno.



④ Proces provlačenja bez trna i s njime



⑤ Prevlačenje letećim koničnim trnom



⑥ Proširivanje cijevi preko koničnog trna

Na ⑥ pokazan je postupak navlačenja cijevi preko koničnog trna, sa svrhom da se poveća prvobitan svijetao presjek, a obično uz istodobno stanjenje stijenke cijevi. Jače promjene promjera zahtijevaju postepeno višekratno navlačenje i eventualno međužarenje otvrdnulog materijala.

Sile provlačenja mogu se odrediti prema izrazima koje ćemo ovdje navesti.

Za provlačenje cijevi preko mirnog koničnog trna sila je:

$$F = D_a \pi h_a k \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}{2\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{h_a}{h_b}\right)^{\frac{2\mu}{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}}\right] \cdot c$$

gdje je

$$\beta < \alpha$$

c = korekturni koeficijent > 1. Za provlačenje cijevi s glatkim mirnim trnom za koji je kut $\beta = 0$ sila je:

$$F = D_a \pi h_a k \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\alpha}{2\mu}\right) \left[1 - \left(\frac{h_a}{h_b}\right)^{\frac{2\mu}{\operatorname{tg}\alpha}}\right] \cdot c$$

Za provlačenje cijevi i boca s glatkim pokretnim trnom koji protiskuje cijev, odnosno bocu kroz matricu sila je:

$$F = c \cdot D_a \pi h_a k \left(1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha}\right) \ln \frac{h_b}{h_a}.$$

Za proširivanje cijevi navlačenjem preko koničnog trna sila je:

$$F = D_a \pi h_a k \frac{B}{B-1} \left[1 - \left(\frac{h_a}{h_b}\right)^{B-1}\right],$$

gdje je

$$B = \frac{\operatorname{tg}\beta + \mu}{\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha} > 1,$$

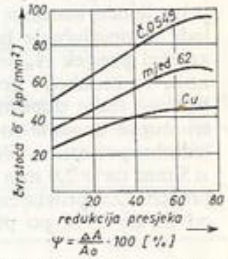
$$\beta > \alpha.$$

Pretpostavke uz koje su izvedene gornje formule za sile F i naprezanja σ_v nisu u cijelosti ispunjene, pa su zbog toga moguće i veće razlike između tako izračunatih i stvarnih vrijednosti. Na primjer, nesigurno je poznavanje vrijednosti za veličinu k, vrijednosti za koeficijent trenja μ, nisu dovoljno točno poznate, nije uzeto u obzir neizbježno zagrijavanje provlačenog materijala, matrice i maziva pa zbog toga i promjena viskoznosti maziva i dr.

22.54 Očvršćenje i otvrdnuće materijala prilikom hladnog provlačenja

Dijagrami na ⑦ pokazuju za bakar, mjed 62 i za srednji čelik kako se mijenja čvrstoća provučenog materijala ovisno o ukupnoj redukciji presjeka ψ. Vidi se da redukcije od nekih 70% približno podvostručuju vrijednosti za čvrstoću vidi 22.14 — ⑤.

Pri još većim redukcijama primjećuje se kadšto i stanovito opadanje čvrstoće, vjerojatno zbog pojave mikropukotinica. Često se zbog toga, kao i zbog čuvanja provlačnog alata, može redukcija od ukupno 70% smatrati gornjom granicom, nakon koje je, ako treba nastaviti provlačenje, neophodno materijal podvrći toplinskom postupku omekšavanja i vratiti ga u prvobitno mekano i istežljivo stanje. To vrijedi u prvom redu za osjetljivije materijale, među koje ubrajamo neke aluminijske legure, neke bronce, tvrde vrsti čelika, kromnikalne legure, te za provlačenje složenijih, odnosno šupljih profila.



⑦ Promjena čvrstoće ovisno o redukciji presjeka

22.55 Izbor maziva

Lakoća provlačenja, utrošak energije, vijek trajanja alata i kvaliteta površine provučenog materijala ovisni su o pravilnom izboru maziva. Taj se izbor provodi općenito ovisno o vrsti provlačenog materijala, o njegovim mehaničkim i kemijskim svojstvima, o obliku i o stanju njegove površine, o brzini provlačenja i o temperaturi zagrijavanja, pa također i sa stajališta lakog skidanja ostataka maziva nakon provlačenja. Prema njihovu podrijetlu grupiramo maziva na životinjska, biljna, mineralna i sintetska, a po žitkosti na kruta, žitka i polužitka. Loj, vosak, sapuni, vodeno staklo, vazelin, palmino, ricinusovo, maslinovo i repičino ulje, mašinska ulja i mazut, kreda, vapno, grafit i molibden-bisulfid glavni su predstavnici, odnosno sastojci maziva. Za provlačenje čeličnih cijevi upotrebljavaju se sapunasta maziva uz dodatak krede i drugih punila, koja treba da otežavaju istiskivanje maziva pod djelovanjem visokih pritisaka. Količina tih punila dosiže do 30%. Za provlačenje šipkastog materijala od lakih metala služe gusta mineralna ulja za dodatak grafita, za provlačenje bakrenih i mjedenih šipki služe mineralna ulja uz dodatak biljnih masti ili sapuna. Za provlačenje srebra, zlata i platine služe vosak, parafin uz eventualan dodatak repičina ulja. Dobro prianjanje maziva osigurava prethodno fosfatiranje, a nanos tankog sloja bakra uronjavanjem čeličnih šipki i žice u otopinu modre galice djeluje također kao sredstvo za podmazivanje.

22.56 Programiranje provlačenja. Zadaća je programiranja da se na temelju zadanog početnog presjeka A_0 i konačnog A_n utvrdi:

1 — ukupno potreban broj provlačenja, tj. prolaza kroz alat n

2 — veličina redukcije presjeka u pojedinom prolazu

3 — da li je potrebno i nakon kojeg prolaza otvrdnuli materijal podvrći toplinskom omekšavanju.

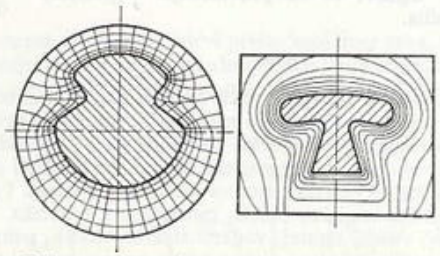
Pri programu provlačenja i toplinskog omekšavanja treba da se uzmu u obzir i eventualni zahtjevi o čvrstoći σ_L i o produženju materijala δ nakon provlačenja.

Na temelju dijagrama očvršćavanja materijala ⑦, ovisno o izvedenoj redukciji presjeka, odabiru se, naime, odgovarajuće posljednje redukcije, odnosno redukcije nakon prethodnog toplinskog omekšavanja.

Ukupan broj prolaza n nađe se iz izraza:

$$n = \frac{\log \frac{A_n}{A_0}}{\log (1 - \psi_m)}$$

Pri provlačenju jednostavnih okruglih bakrenih šipki redukcija presjeka po prolazu iznosi 20—30%, za pravokutne trake 18—25%, a za složenije i tankostijene profile oko 7—16% po prolazu. Za provlačenje bakrenih cijevi stijenke debljine 1,5—2,0 mm iznose analogne redukcije po prolazu oko 15—26%. Tablice 1—3. pokazuju tri primjera provlačenja bakrenih žica i traka. Tablica 1. pokazuje redukciju promjera u pojedinim prolazima, i to za početne promjere žica od 6,5—3,0—2,5—2,0—1,0 i 0,5 mm i njima pripadajuće konačne promjere od 2,0—0,9—0,8—0,6—0,3 i 0,15 mm. Tablica 2. vrijedi za provlačenje bakrene trake početnog presjeka $A_0 = 16 \times 8$ mm² u 4 prolaza na završni presjek $A_n = 11{,}0 \times 4{,}0 = 44$ mm². U posljednjem stupcu unesene su vrijednosti za redukcije presjeka ψ u pojedinim prolazima. Tablica 3. vrijedi za provlačenje bakrene trake trapeznog presjeka stranica a, b i visine H u četiri prolaza. U posljednja tri stupca unesene su vrijednosti za redukcije širina stranica ψ_a, ψ_b i presjeka ψ_A u pojedinim prolazima. Visina H se pri tome neznatno smanjila. Provlačenje čelične žice od ⌀5 mm na ⌀2,0 mm izvodi se u 5—6 prolaza s redukcijama presjeka od 26—33% po prolazu. Za provlačenje iste žice na ⌀ 1,2 mm potrebno je 8—9 prolaza s redukcijama od 26 do 35% po prolazu.



⑧ Postepene promjene presjeka pri provlačenju

Konačno su na ⑧ pokazana dva primjera provlačenja, i to:

1 — provlačenje tzv. osmice iz okrugle bakrene žice ⌀17 mm.

2 — provlačenje specijalnog T-profila iz bakrene šipke pravokutnog presjeka. Ucrtane linije pokazuju postepene promjene presjeka u pojedinim prolazima. Vidi se da su redukcije presjeka u pojedinim prolazima nejednake i u različitim smjerovima pri istom prolazu međusobno prilično različite.

Tablica 1.

Početni promjer žice mm	Promjer bakrene žice nakon pojedinih prolaza, mm											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6,5	5,40	4,50	3,70	3,15	2,7	2,3	2,0	—	—	—	—	—
3,0	2,7	2,43	2,18	1,96	1,77	1,60	1,44	1,20	1,16	1,04	0,90	—
2,5	2,85	2,03	1,82	1,64	1,47	1,33	1,20	1,08	0,96	0,87	0,80	—
2,0	1,8	1,62	1,45	1,31	1,18	1,07	0,96	0,86	0,77	0,69	0,60	—
1,0	0,9	0,81	0,73	0,66	0,60	0,54	0,48	0,43	0,38	0,34	0,30	—
0,5	0,46	0,42	0,38	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15

Provlačenje bakrene trake

Tablica 2.

	Traka pravokutnog presjeka	Presjek A mm²	Redukcija presjeka ψ u %
Početni oblik	16 × 8 mm	128 mm²	—
1. prolaz	13,5 × 7,0	94,5	26%
2. prolaz	12,5 × 5,5	68,8	27%
3. prolaz	11,6 × 4,7	54,5	21%
4. prolaz	11,0 × 4,0	44	19%

Provlačenje bakrene trake trapeznog presjeka Tablica 3.

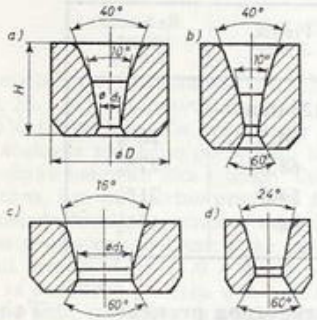
	Traka trapeznog presjeka			Presjek A mm²	Redukcija stranica i presjeka u %		
	stranice		visina H mm				
	a	b			ψ_a	ψ_b	ψ_A
Početni oblik	10,0	6,2	13,6	110	—	—	—
1. prolaz	8,9	5,7	13,5	98	11	8	11
2. prolaz	7,3	4,9	13,4	82	18	14	16,5
3. prolaz	6,8	4,3	13,3	74	6,9	12	10
4. prolaz	5,8	3,6	13,2	62	15	16	16

22.57 Brzine provlačenja

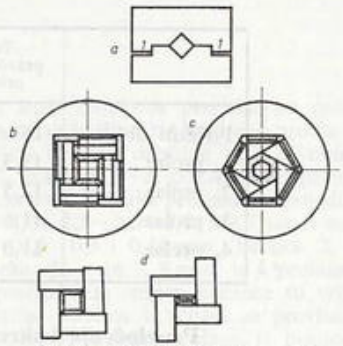
Te se brzine kreću u širokim granicama ovisno o vrsti i svojstvima provlačenog materijala, o obliku, o složenosti i o veličini profila koji se provlači te o konstrukciji i veličini stroja za provlačenje. Okrugle i ravne šipke, jednostavni profili i cijevi provlače se na provlačnim kalupima brzinama od 0,10—0,20 m/s kao najmanjima pa od 0,5—1,5 m/s kao već visokim vrijednostima, koje se mogu postići samo na dovoljno jakim strojevima. Žice ⌀3—5 mm i sitne trake provlače se na strojevima sa samo jednom matricom brzinama od 1 do 3 m/s, a tanje žice i na strojevima s većim brojem matrica i bubnjeva s brzinama do 10 m/s i iznad toga. Prejako zagrijavanje u radu i prenaglo trošenje provlačnih matrica zahtijevaju da se ograniči brzina provlačenja.

22.58 Oblikovanje i materijal provlačnih matrica

⑨ prikazuje nekoliko oblika matrica u uzdužnom rezu za provlačenje okruglog materijala. Oblici *a* i *b* za sitnije šipke imaju na ulaznoj strani dodatne veće konuse od 40° za smještaj maziva. Na radni konični dio nastavlja se kod oblika *b-c-d* kraći ravni, odnosno cilindrični dio, koji osigurava dulji vijek trajanja matrice jer se prebrušavanjem konične radne površine neće mijenjati izlazni promjer, odnosno svjetao presjek matrice. Taj ravni dio matrice ima osim toga zadaću vodilice i kalibratora, koji daje i nešto ravnije provučene šipke. Duljina ravnog dijela za provlačenje šipki punog presjeka iznosi 3 do 7 mm, a za provlačenje cijevi 1—2 mm, jedino za provlačenje tankostijenih cijevi relativno većih promjera iznosi do 15 mm. Ravni dio matrice povisuje nešto sile provlačenja, što praktično ima utjecaja samo pri provlačenju cijevi. Kut α odabire se kod matrica za provlačenje šipki najčešće sa 6° a za provlačenje cijevi sa 10—12°. Nezgodno odabrani kutovi, kao i neodgovarajuće duljine ravnog dijela imaju primjetljiv utjecaj na tolerancije provučenog materijala, pogotovo pri provlačenju šupljih profila bez upotrebe trna.



⑨ Oblici matrica za provlačenje okruglog materijala



⑩ Dvodijelne i višedijelne matrice

Za provlačenje šipki četvrtastog i šesterougaonog presjeka te profila složenijih oblika često se upotrebljavaju dvodijelne i višedijelne matrice, koje olakšavaju izradu i održavanje matrice, kao i umetanje uložaka od tvrdih metala. ⑩a pokazuje primjer dvodijelne matrice kod koje se prebrušivanjem površina 1—1 istrošena matrica vraća na polazni oblik. Poseban tip su tzv. udesive matrice, sastavljene od udesivih segmenata koji se mogu međusobno raznoliko porazmjestiti, čime se mijenjaju i veličine presjeka u širim granicama, što ima osobitu praktičku prednost, kako pokazuje shema ⑩b do d.

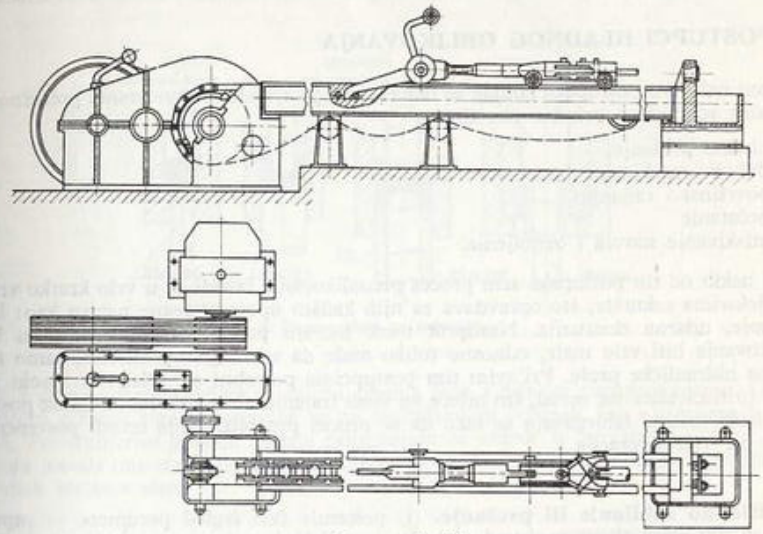
Materijal za izradu provlačnih matrica može biti neki alatni čelik, tvrdi metali i dijamant. Od čelika se vrlo često upotrebljavaju kromovi čelici, npr. Č. 4150, sa 12% kroma i 2% ugljika. Danas se sve više primjenjuju matrice od tvrdih metala, pogotovo za manje dimenzije i složenije profile. Kadšto se upotrebljavaju i tvrdo kromirane čelične matrice, gdje tvrdi sloj nanesenog kroma bitno produžuje vijek trajanja. Za provlačenje fine žice služe matrice s dijamantnim uloščima učvršćenima u tijelo matrice.

Vijek trajanja matrice, kao i lakoću provlačenja te kvalitetu površine provučenog materijala produžuju dobro ispolirana radna površina matrice, upotreba odgovarajućeg maziva i ispravna brzina provlačenja.

Sovjetski standard GOST 3919—47 grupira matrice od tvrdih metala za provlačenje šipki i žice prema okvirnim mjerama u 14 skupina počevši od $D \cdot H = b \cdot 4$ mm kao najmanje pa do 140 · 50 kao najveće. Najmanji normirani promjer d_1 iznosi 0,1 mm, a najveći 84 mm. Za sitne matrice oblika *a* i *b* ⑨ predvida kut radnog konusa od 10°, a kod većih matrica oblika c kut 12—16°. Za provlačenje cijevi GOST 2330—47 poznaje samo oblik *d* s kutom radnog konusa od 24° za sve veličine matrica.

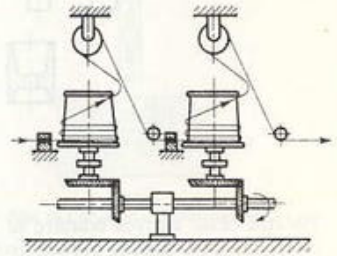
22.59 Strojevi za provlačenje

Za provlačenje ravnog šipkastog materijala i cijevi služe klupe-provlačilice prema ⑪. Po masivnoj klupi, sastavljenoj od čeličnih profila, kreću se kolica s kliještima koja vuku provlačenu šipku. Kolica se pomoću kvačila spajaju sa zglobastim Gallovim lancem, koji se nalazi u neprekidnom gibanju. U masivnoj ploči sprijeda smješten je alat za provlačenje. Za provlačenje cijevi stroj ima ispred ove ploče dodatnu klupu za pričvršćenje



⑪ Klupa provlačilica

držača trna. Lanac dobiva pogon od elektro-motora preko reduktora, koji dopušta promjenu brzine provlačenja. Suvremene izvedbe tih strojeva predviđaju 3—4 brzine provlačenja. Ti se strojevi grade za brzine provlačenja od 10 do 35 m/min, za sile provlačenja od 1 do 60 Mp, za dužine provlačenja od 5 do 9 m, sa snagama elektro-motora od 3 do 40 kW. Visokoproduktivni strojevi omogućuju još veće brzine povlačenja i predviđaju provlačenje po tri šipke istodobno te imaju prigrađene posebne transportere za dodavanje šipki te odvod provučenog materijala. Važno je da porast provlačne sile raste postepeno do pune vrijednosti, čime se izbjegava neugodno udarno opterećenje stroja, alata i provlačenog materijala na početku provlačenja.



⑫ Višestepena provlačilica za žicu

Za provlačenje materijala sitnog presjeka, kao što su trake i žice, koji se lakom namata u koture, upotrebljavaju se provlačilice s bubnjevima za namatanje. Prema broju provlačnih matrica i bubnjeva razlikujemo jednostavne konstrukcije provlačilica za jednostepeno provlačenje, koje sadržava samo jednu provlačnu matricu i jedan bubanj, i visokoproduktivne višestepene provlačilice, s više matrica i bubnjeva ⑫, kod kojih se nakon prolaza kroz jednu matricu provlačenje nastavlja besprekidno u nizu slijedećih matrica. Višestepene provlačilice za mekanu čeličnu žicu sadržavaju obično do 10 matrica, premda ima strojeva, pogotovo za tzv. mokro provlačenje, i s većim brojem matrica. Načelne razlike postoje između višestepenih provlačilica s tzv. klizanjem žice i bez tog klizanja.

Provlačilice s klizanjem žice upotrebljavaju se pri mokrom provlačenju; sadržavaju obično zajednički elektro-motor i reduktor, dok svaki pojedini bubanj ima svoj vlastiti zupčani prijenosnik za uskladivanje njegove turaže i brzine provlačenja s brzinama susjednih bubnjeva. Provlačilice bez klizanja žice razlikuju se konstruktivno po načinu na koji je izbjegnuto spomenuto klizanje.

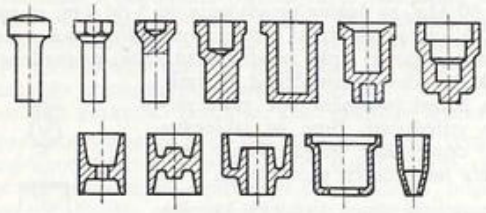
22.6 POSTUPCI HLADNOG OBLIKOVANJA

Postoji nekoliko postupaka kojima se danas služi proizvodnja raznovrsne, pretežno sitne, metalne robe. Kao primjer navodimo:

- hladno prešanje
- duboko utiskivanje
- površinsko valjanje
- pečatanje
- utiskivanje navoja i ozubljenja.

Kod nekih od tih postupaka sam proces preoblikovanja izvodi se u vrlo kratko vrijeme, u dijelovima sekunde, što opravdava za njih kadšto upotrebljavane nazive kao: hladno štrcanje, udarna ekstruzija. Nasuprot tome moraju pri dubokom utiskivanju brzine oblikovanja biti vrlo male, odnosno toliko male da se mogu upotrijebiti samo sporohodne hidrauličke preše. Pri svim tim postupcima potrebni su relativno visoki specifični pritisci alata na metal, što utječe na vijek trajanja alata i na rentabilnost postupka. Previsoki pritisci izbjegavaju se tako da se proces preoblikovanja izvodi postepenije, u dvije ili više operacija

22.61 Hladno sabijanje ili prešanje. ① pokazuje čest izgled predmeta — otpresaka koji se tim postupkom proizvode, kao što su dijelovi motora raznih aparata i mjerila, instalacijski pribor i dr. Jedni su, kako se vidi, čisto puni oblici ili s plitkim utisnućem, drugi su pretežno šuplji, odnosno čahurastog oblika. Težine otpresaka kreću se u širokim granicama, počevši od samo nekoliko grama pa do najtežih od 10 i više kilograma.



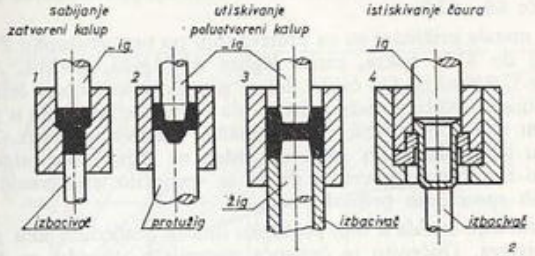
① Primjeri otpresaka

Početni oblik sirovca odabire se prema izgledu i dimenzijama gotova otpreska. Razlikujemo slijedeće glavne oblike sirovca:

- štapićasti odrezak, služi prvenstveno za štapićaste i pune oblike otpresaka, kratki okrugli odresci služe za otpreske u obliku plitkih čančeta;
- rondele, kao okrugle ploče, štancane iz lima, služe za šuplje cjevaste otpreske, čančeta i tankostijene tube;
- čančeta, služe za čahure i čahuraste šuplje otpreske.

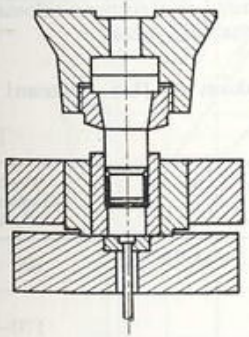
Sirovci treba da su besprijekorne površine i točnih dimenzija jer to utječe na kvalitetu površine i točnost dimenzija otpresaka.

② pokazuje načelne sheme alata za nekoliko oblika otpresaka. Glavni dijelovi alata su žigovi, kalupi ili matrice te izbacivači, odnosno skidači. U jednima od tih alata je zaprešavani metal u kalupu sa svih strana potpuno zatvoren, kod drugih je kalup poluotvoren i dopušta slobodno tečenje metala u dotičnom smjeru. Osim toga zapaža se da se kod alata br. 1 i 4 zaprešavani metal giba u smjeru gibanja pokretnog žiga, kod alata

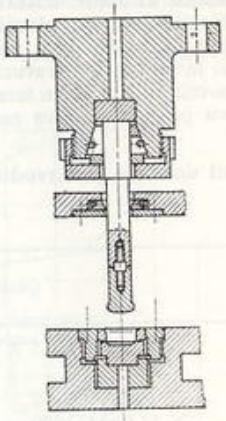


② Sheme alata za otpreske

br. 2, 3 giba se metal dijelom u smjeru gibanja žiga, a dijelom nasuprot njemu. Gibanje u smjeru gibanja žiga primjenjuje se pri zaprešavanju čeličnih, kao i neželjeznih materijala. Protusmjerno gibanje metala primjenjuje se uvijek u proizvodnji tuba. Smjer gibanja metala ima stanovit utjecaj na lakoću prešanja, na visinu specifičnih pritisaka te na vijek trajanja alata.



③ Alat za prešanje čahurastih otpresaka



④ Alat za prešanje aluminijskih tuba

③ prikazuje nešto detaljniji izgled alata za prešanje čeličnih čahurastih otpresaka, a ④ za prešanje aluminijskih tuba. S obzirom na visoke specifične pritiske potrebno je da svi opterećeni dijelovi alata budu zakaljeni na tvrdoću od 58 do 62 Rc.

Visina srednjih specifičnih pritisaka p_m mjerena na čelu žiga raste s veličinom promjera prvobitnog presjeka, odnosno promjera kod okruglih otpresaka. Za vijek trajanja alata

i rentabilnost postupka važno je da taj pritisak bude najviše 250 kp/mm². U slučaju ako bi planirano preoblikovanje zahtijevalo još veće pritiske, treba ga provesti postepenije tj. u više faza, čime će se p_m primjetljivo umanjiti. Pri proizvodnji aluminijskih tuba pritisak p_m jako ovisi o debljini stijenke plašta te iznosi 80—100 kp/mm² za stijenku debljine 0,15—0,20 mm. Za čelične tube debljine stijenke oko 1,5—2,0 mm taj bi pritisak iznosio otprilike 200 do 220 kp/mm².

Materijal opterećenih dijelova alata, poimence žiga i matrice, gotovo je uvijek legirani alatni čelik. Za žigove i dijelove matrica alata za proizvodnju tuba rado se uzima čelik Č. 4150 sa 12% kroma, koji izdržava oko 50 000 otpresaka. Radna površina žiga treba da bude tvrdoće 60—62 Rc.

Od neželjeznih metala prikladni su za proizvodnju po tom postupku Pb, Cu, Zn, Sn čisti Al, mjedi sa 63 do 85% bakra, zatim legure Al-Mg-Si, Al-Mn, AlMg 3. Manje su prikladni AlMg 5, AlCuMg. Od čelika dolaze prvenstveno u obzir čelici s ispod 0,2%C. Za lakoću prešanja i uspjeha u radu važno je da svi materijali budu u najmekšem stanju. Poželjna je, osim toga, i odgovarajuća finozrnatost njihove strukture. Za čelične materijale je u slučaju težih plastičnih operacija važan ne samo izbor odgovarajućeg maziva već i prethodno fosfatiranje površine da bi se spriječilo istiskivanje maziva pod djelovanjem visokih specifičnih pritisaka.

Hladno preoblikovanje metala u tom postupku ima za posljedicu jaku promjenu njegovih mehaničkih svojstava. Općenito je čvrstoća materijala otpreska za 50—80% veća od čvrstoće materijala sirovca, a produženje se smanjuje na ispod jedne trećine od prvobitne vrijednosti. U tom smislu taj postupak znači i stanovito poboljšanje materijala.

U usporedbi s postupkom izrade pomoću skidanja strugotine taj postupak prešanja ima velike prednosti i sa stajališta uštede na materijalu. Isto tako on udovoljava zahtjevima sa stajališta točnosti dimenzija i kvalitete površine tako da naknadne dorade u mnogo slučajeva nisu potrebne.

22.62 Hladno duboko utiskivanje je način izrade gravure matrica ukovnja, alata za tlačni lijev i za preradu plastičnih masa pomoću utiskivanja žiga u blok relativno mekšeg materijala. Tako izrađena gravura, tj. utisnina je negativ pogodno oblikovanog žiga. Tako se može izraditi gravura bez skidanja strugotine uz dobru točnost oblika i kvalitetnu površinu. Taj način izrade alata je relativno nov i nije potpuno udomaćen u alatničarstvu premda obećava racionalniju izradu spomenutih alata.

Materijali domaće proizvodnje označeni su znakom po JUS, a strani proizvodi po DIN 17006

Tablica 1.

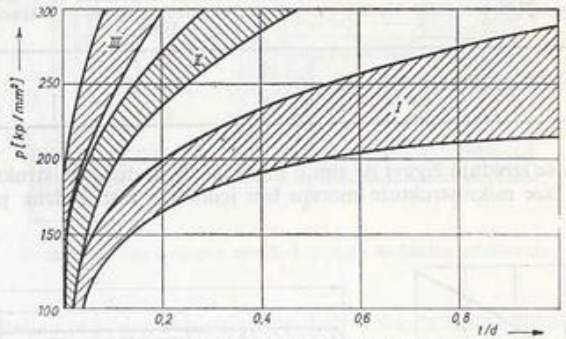
Grupa	Oznake materijala za matrice	Tvrdoća u odžarenom stanju HB kp/mm²
I.	Č. 1841 — C 15 W5 — X 6 CrMo5 — X 8 CrMoV5	100—130
II.	Č. 1941—95 V4 — Č. 4140 — Č. 4752 — X 32 CrMoV 33 — Č. 4321	170—210
III.	Č. 3840 — 55 NiCr 10 — X 45 NiCrMo 4 — — Č. 5742 — Č. 6450	210—250

Sila utiskivanja ovisna je o nizu kompleksno utjecajnih faktora: o mehaničkim i o fizikalnim svojstvima materijala trna i matrice, o oblicima i dimenzijama utisnute gravure, o trenju i podmazivanju, o zahtjevima za određenom kvalitetom površine gravure te o

režimu izvođenja deformacije. Točno određivanje sile utiskivanja je stoga otežano pa se orijentacijski proračun izvodi na temelju:

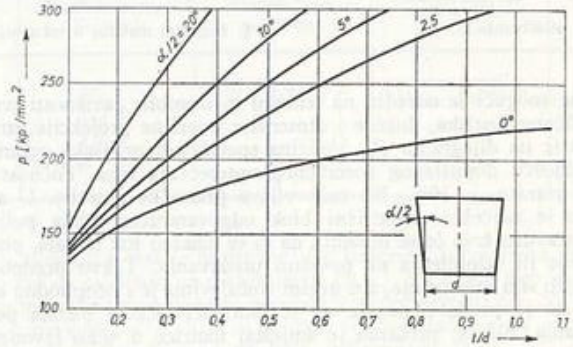
$$F = A \cdot p$$

Na veličinu specifičnog pritiska najveći utjecaj ima vrsta materijala matrice i žiga. Čelični materijali koji se upotrebljavaju za matrice svrstani su u skupine obradivosti hladnim utiskivanjem, pri čemu skupina I obuhvaća materijale koji uz inače iste uvjete omogućavaju dobivanje relativno najdubljih utisnina. Izbor materijala matrice ovisit će o namjeni, o uvjetima eksploatacije i o mehaničkim osobinama nakon kaljenja i napuštanja.



⑤ Specifični pritisci pri utiskivanju

Veličine specifičnih pritisaka pri utiskivanju tih materijala cilindričnim trnom dane su u dijagramu na ⑤ za odnos utisnute dubine t i promjera trna d za tzv. reduciranu dubinu. Pri četvrtastim utisninama reducirana dubina dobiva se iz izraza $t/1{,}13\sqrt{A}$, gdje A označava projekciju površine utisnine.



⑥ Utjecaj koničnosti žiga na veličinu specifičnog pritiska

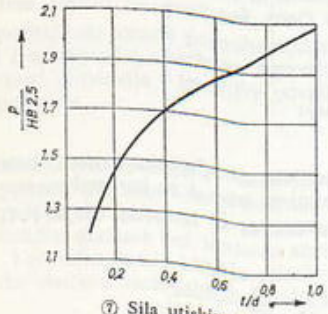
Utjecaj koničnosti žiga na veličinu specifičnog pritiska pri utiskivanju u matricu od materijala skupine obradivosti I prikazan je na ⑥. Za materijale skupine obradivosti II i III specifični pritisci su viši od onih za materijale I skupine i za odgovarajući $\alpha/2$ u približno istim proporcijama kako je prikazano na ⑤, gdje se vide vrijednosti p za $\alpha/2 = 0$.

Izbor materijala žiga ovisi o njegovim dimenzijama, o obliku gravure, o dubini u
vanja, o podmazivanju i o kvaliteti obrade površine trna koja se utiskuje, no pres
ulogu ima pri tom dopušteno tlačno specifično opterećenje čeone površine trna.
rijali koji se najčešće upotrebljavaju prikazani su u tablici 2. S obzirom na najveća
puštena specifična opterećenja žiga moguće je odrediti i najveću silu utiskivanja n
melju prije naznačenog izraza.

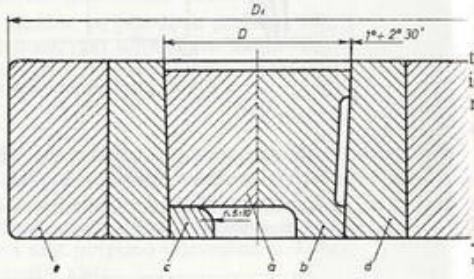
Podaci čelika za žigove Tablic

Oznake po JUS-u i DIN 17006	Tvrdoća u termički obrađenom stanju HRc	Dopušteno tlačn specifično opterećе kp/mm²
Č. 4750 – 75 CrMoNiW 67 – 55 NiCr 10	58–63	220–300

Čelici od kojih se izrađuju žigovi ne smiju imati nikakvih defekata strukture ni uklju
troske. Tvrde faze mikrostrukture moraju biti jednoliko raspoređene po čitavom
sjeku.



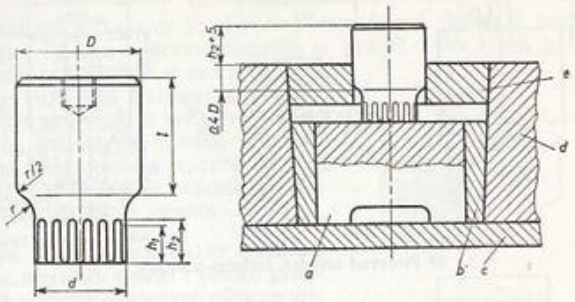
⑦ Sila utiskivanja



⑧ Smještaj matrica u toku utiskivanja

Silu utiskivanja moguće je odrediti na temelju međusobne zavisnosti tvrdoće mater
matrice, specifičnog pritiska, dubine i dimenzije površine projekcije utisnine. Ta o
nost prikazana je na dijagramu ⑦. Veličina specifičnih pritisaka ograničena je ma
malnom vrijednošću dopuštenog specifičnog opterećenja žiga. Točnost tako odre
sile je unutar granica ± 10%, što zadovoljava praktičke potrebe. U svom počet
obliku matrica je najčešće cilindrični blok odgovarajućeg čelika poliranih površ
S obzirom na gravuru koja će se utisnuti, da bi se olakšao tok metala, prakticira se iz
đenje ispupčenja ili udubljenja na površini utiskivanja. Takvo predoblikovanje m
osjetljivo smanjiti silu utiskivanja, a u nekim slučajevima je i neophodno da bi se izbj
pukotine. Načelo je predoblikovanja da se omogući tečenje metala pod djelovan
tlačnih naprezanja. Na ⑧ prikazan je smještaj matrice u toku izvođenja utiskiva
Cilindrični blok (a) promjera D smješten je u dvodijelni međuprsten (d). Da bi se o
šalo tečenje metala, prikazane su dvije varijante: na lijevoj strani (a) s podložnim pr
nom (c) i na desnoj strani (b) s predoblikovanom donjom plohom i plaštom cilin
Dvodijelni prsten (d) uložen je u prstenasti držač (e).
Cilindrični blok izvodi se s blagim konicitetom od 1° do 2,5° promjera D, koji kod okr
le utisnine mora biti bar dva puta veći od promjera trna. Promjer prstenastog držača
je oko 2,5 puta veći od promjera bloka D. Visina bloka je oko 2,5 puta veća od du

iskivanja. Podložni prsten i dvodijelni međuprsten izrađuju se od alatnog čelika, koji
termički obrađenom stanju ima čvrstoću loma 160 do 180 kp/mm². Prstenasti držač
rađuje se od čelika, koji u poboljšanom stanju ima čvrstoću loma 110 do 130 kp/mm².
ig se oblikuje u skladu sa zahtjevima tehnike kaljenja, a pri tom valja izbjegavati velike
zlike u površini presjeka i oštre prijelaze. Potrebno je predvidjeti blaga zaobljenja na
jelu koji se utiskuje jer oštri rubovi izazivaju pukotine u matrici, a uz to otežavaju i



⑨ Izvedba žiga i njegov smještaj u alatu za hladno utiskivanje

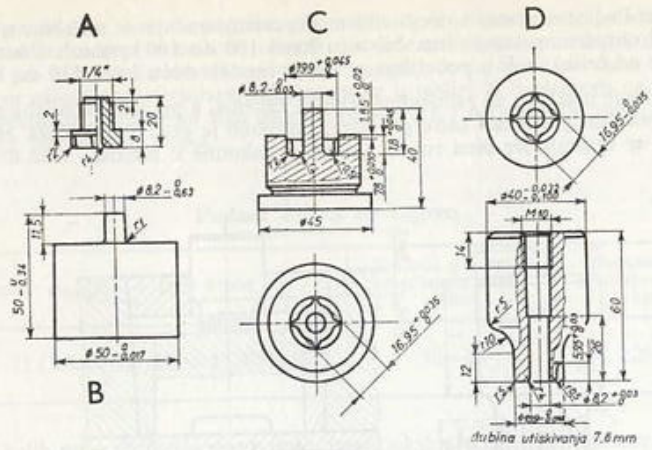
tiskivanje. Poželjan je i blag konicitet trna, koji treba da iznosi najmanje 1/2°. Na ⑨
idi se izvedba žiga i njegov smještaj u alatu za hladno utiskivanje. Za takav žig kružnog
resjeka dimenzije su dane u tablici 3.

Dimenzije žiga kružnog presjeka za hladno utiskivanje

(Dubina utiskivanja = h_1) Tablica 3.

Promjer radnog dijela trna d (mm)	Promjer trna D (mm)	Dužina trna l (mm)	Dužina radnog dijela trna h_1 (mm)	Radijus zakrivljenosti R (mm)
o 30	$2d$	$h_2+0{,}4D+5$	$(1{,}15-1{,}25)\,h_1$	$0{,}5\,d$
) do 50	$1{,}5\,d$			$(0{,}15-0{,}25)\,d$
) do 80	$1{,}2\,d$			$0{,}1\,d$
še od 80	d			—

Na ⑨ je vidljiv blok (a) u koji će se utisnuti trn smješten u dvodijelni prsten (b) i prste-
asti držač (d) koji se oslanjaju na podložnu ploču (c). Na dijelu žiga koji se ne utiskuje
sigurano je neophodno točno vođenje pomoću vedećeg prstena (e). Na žigu je redovito
zvedena rupa s navojem, koja služi za prihvat odgovarajućeg alata pri vađenju žiga iz
matrice. Sve površine žiga koje se utiskuju polirane su.
Na ⑩ prikazan je proizvod (A), koji se izrađuje prešanjem. Blok čelika 1841 prethodno
oblikovan u skladu s dimenzijama proizvoda i radi toga da bi se olakšalo tečenje
metala (B). Matrica (C) definitivno je obrađena nakon utiskivanja gravure pomoću žiga
D) izgrađenog od materijala Č. 4750. Sve radne plohe žiga i bloka su prije utiskivanja
olirane do zrcalnog sjaja. Utiskivanje je izvedeno silom od 60 Mp jednim hodom žiga
trajanju od 1,5 minute.



⑩ Proizvod izveden tlačnim livenjem

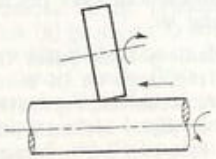
Brzina utiskivanja žiga ovisi u prvom redu o mogućnostima plastičnog tečenja materijala matrice pa također i o dimenzijama i obliku gravure. Po pravilu se hladno utiskivanje izvodi brzinama od 0,1 do 10 mm/min, pri čemu se donja granica brzine odabire za izvedbu kompliciranih gravura u tvrđem čeliku.

Trenje može pri hladnom utiskivanju biti značajna poteškoća. U tu svrhu poliraju se sve kontaktne plohe, a prakticira se i pobakrivanje trna uronjavanjem u otopinu modre galice. Kao sredstvo za podmazivanje služi u lakšim slučajevima visokotlačno mineralno ulje, a u težim molibden-disulfid (MoS_2), koji se utrlja na površinu metala.

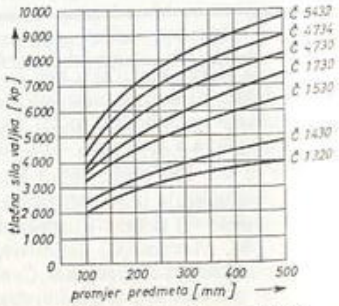
Hidrauličke preše za hladno utiskivanje odlikuju se krajnje sporim gibanjem radnog klipa i relativno malim hodom. Dijelovi preše koji se gibaju imaju vrlo dobro vođenje, što je veoma važno za uspjeh procesa. Konstrukcija je zbijena, a radni prostor oklopljen radi zaštite okoline zbog mogućnosti eksplozivnih lomova alata izazvanih djelovanjem visokih specifičnih pritisaka. Suvremene izvedbe imaju automatiku za ograničavanje sile utiskivanja i iskopčavanje pri postignutoj dubini utiskivanja te mogućnost vrlo fine regulacije brzine utiskivanja. Izvode se do sila od 2 500 Mp.

22.63 Površinsko valjanje je način obrade metalnih površina u hladnom stanju, a ima za svrhu poboljšanje glatkoće uz istodobno povišenje tvrdoće i očvršćenje površinskog sloja.

Glatkoća površine poboljšava se na specijalnim strojevima pomoću glatkih i tvrdih valjaka čija je površina polirana uz pomoć tlačne sile. Predmet koji se obrađuje upet je na stroju i ima rotacijsko gibanje. Valjak postavljen na suport stroja ostvaruje posmik i tlačnu silu. On također rotira zbog trenja. Shema postupka prikazana je na ⑪. Veličina tlačnih sila ovisi o vrsti materijala, o dimenzijama predmeta koji se valja i o širini tlačne plohe valjka. Dijagram ⑫ pokazuje veličine tlačnih sila za slučaj valjanja okruglih predmeta različitog promjera načinjenih iz različitih vrsta čelika za poboljšavanje. Dijagram vrijedi za valjak promjera 180 mm, širine valjanja 10 mm i polumjera zaobljenja 10 mm uz posmik od 0,5 mm/okr.



⑪ Shema postupka površinskog valjanja

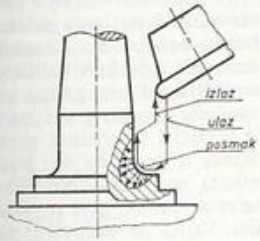


⑫ Veličine tlačnih sila za valjanje okruglih predmeta

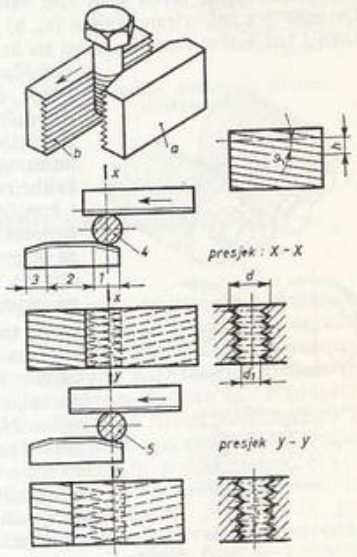
Takvim načinom obrade moguće je smanjiti dubine površinskih neravnosti kojih 40 mikrometara na svega par mikrometara. Postupak je kratkotrajan i vrlo pogodan za masovnu proizvodnju. Primjenjuje se i kao dorada za postizavanje jednoličnije raspodjele polja tolerancija pri izradi predmeta na automatskim strojevima.

Posljedica površinskog valjanja je očvršćenje površine i slojeva u neposrednoj blizini površine. Na površinskim slojevima moguće je postići i do 100% povećanja tvrdoće. Takvo očvršćenje primjenjuje se za stabla ventila, za prstene kugličnih ležajeva, za obradu čunjaka tekstilnih strojeva, za različite prijelaze i zaobljenja koljenastih osovina — u biti svagdje gdje se želi povećana otpornost protiv zamora. Na ⑬ prikazana je shema gibanja valjka pri očvršćenju stabla ventila.

22.64 Pečatanje. Služi u proizvodnji metalnog novca, medalja, metalnih znački i sličnih predmeta. Postupak se sastoji u relativno plitkom utiskivanju žiga s ugraviranim oznakama, figurama itd. u prethodno obrezanu rondelu ili platinu.



⑬ Shema gibanja valjaka pri očvršćenju motke ventila



⑭ Utiskivanje navoja valjanjem pomoću ravnih čeljusti

22.65 Utiskivanje navoja i ozubljenja. Utiskivanje navoja moguće je na metalnim materijalima koji se dadu hladno plastično oblikovati. Profil navoja postiže se utiskivanjem odgovarajućeg kalibriranog alata u prethodno obrađeni predmet. Na taj način izrađuju se navoji valjaka od čelika, lakih i obojenih metala na znatno racionalniji način u odnosu prema izradi navoja skidanjem strugotine. Uz točnost površine profila navoja odlikuju se glatkoćom, povećanom čvrstoćom i trajnom tvrdoćom.

Uobičajena su dva glavna postupka: utiskivanje navoja valjanjem pomoću ravnih profiliranih čeljusti te pomoću profiliranih valjaka.

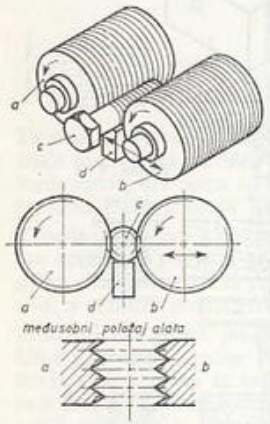
Prvi postupak prikazan je shematski na ⑭. Navoj se formira odvaljivanjem okruglog predmeta između dviju čeljusti s urezanim profilima. Jedna čeljust je nepomična (a), a druga, nešto duža, pomična je u smislu translatornog gibanja (b). Nepomična čeljust ima tri karakteristične zone: zona 1, gdje obrađivani predmet postepeno ulazi u zahvat s čeljustima i gdje postepeno raste specifičan pritisak do veličine koja omogućava tečenje metala, zona 2, u kojoj se obavlja kalibriranje profila navoja, i zona 3, gdje je izlaz obrađivanog predmeta iz zahvata s čeljustima. Dužina zone 1 jednaka je najmanjem opsegu

predmeta, dok je dužina zone 2 za dva do 4 puta veća od opsega predmeta na kojem se izrađuje navoj. Ispravan je položaj predmeta (4) na ulazu onda kad su vrhovi kalibriranog profila alata u međusobnom položaju koji je prikazan presjekom $x - x$. Položaj koji ne odgovara (5) prikazan je presjekom $y - y$. Nagib profila na alatu određen je kutom uspona navoja φ te vrijedi:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{h}{\frac{d + d_1}{2}\pi},$$

Dužina navoja izrađenog tim postupkom ograničena je širinom čeljusti.

Drugi postupak javlja se u više varijanti. ⑬ prikazuje izradu navoja vijka (c) uloženog između dva kalibrirana valjka (a, b) na podložnu letvu (d). Valjci su jednakog promjera, imaju isti smjer rotacije, a osi su im postavljene paralelno u istoj ravnini. Jedan je nepomičan, a drugome je omogućeno bočno translatorno gibanje, čime se podešava radni pritisak, obično pomoću hidrauličnog uređaja, koji daje i zaštitu od preopterećivanja. Za vrijeme utiskivanja navoja uloženi vijak nema translatornog gibanja pa je dužina navoja određena dužinom kalibriranih valjaka. Takvim načinom moguće je izraditi i konične navoje do ukupnog kuta koniciteta 1/2° ako se nepomični valjak postavi koso u odnosu prema osi vijka za odgovarajući kut, ali uz uvjet da profil navoja bude okomit na plašt konusa. Za veće kutove koniciteta potrebni su ovima odgovarajući posebno kalibrirani valjci.



⑬ Utiskivanje navoja valjanjem pomoću profiliranih valjaka

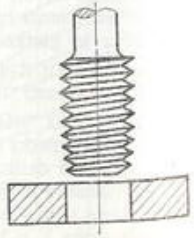
Osim tog postupka poznata je i varijanta pri kojoj uloženi vijak za vrijeme utiskivanja navoja ima i translatorno gibanje. To se postiže izradom spiralnih kalibriranih ureza na valjcima s kutom uspona u odnosu prema uzdužnoj osi vijka. Na taj način moguće je izraditi poželjnu dužinu navoja. Isti se efekt može postići i s valjcima prema ⑬ ako su im osi relativno ukrštene u prostoru pod kutom koji će omogućiti postizavanje kuta uspona navoja vijka. Česta je varijanta i sa tri kalibrirana valjka, koji su konstruktivno riješeni kao jedna cjelina. Valjci ne dobivaju poseban pogon, nego im rotaciju daje vijak, koji ulazi u zahvat. Kalibrirani urezi valjka su paralelni i bez kuta uspona navoja. Ovaj se, međutim, postiže odgovarajućim relativnim nagibom rukavca valjaka, oko kojih ovi rotiraju, u odnosu prema osi vijka. Ni u tom slučaju nije ograničena dužina navoja koji se može izraditi.

Svi opisani postupci utiskivanja navoja visoko su proizvodni, daju vrlo dobru geometrijsku točnost profila i pogodni su za automatizaciju. Uobičajene su brzine rotacije, odnosno gibanja čeljusti do 30 m/min, dok se kod alata s tri valjka postižu brzine rotacije i do 80 m/min.

Kalibrirani alati izrađuju se od alatnog čelika sa 12% kroma, a nakon termičke obrade zahtijeva se tvrdoća od 60 do 62 HRc. Za izradu ravnih kalibriranih čeljusti može se upotrijebiti i ugljični alatni nelegirani čelik sa 1% ugljika ako je alat namijenjen utiskivanju navoja na mekim materijalima.

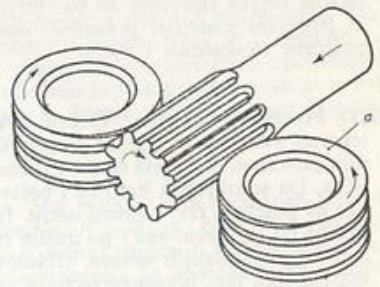
Izrada unutrašnjih navoja utiskivanjem prikazana je shematski na ⑭. Alat je sličan nareznom svrdlu, ali je bez reznih bridova.

Taj način je posebno pogodan za izradu finih navoja, a najčešće se upotrebljava za navoje M3 do M10. Zbog očvršćenja povećava se čvrstoća za kojih 20%.



⑭ Izrada unutarnjeg navoja utiskivanjem

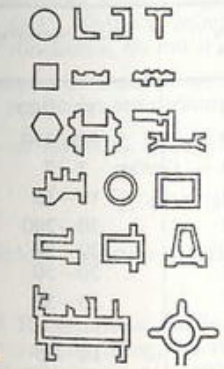
Utiskivanje se primjenjuje za serijsku izradu zupčanika. Shema na ⑰ pokazuje izradu ozubljenog dijela osovine. Kao alat služe dva valjka s kalibriranim urezima određenog modula u obliku pužnog navoja, koji se utiskuje u obradivanu osovinu. Profil bočnih stranica ureza alata formiran je u obliku evolvente. Točnim međusobnim odnosima za vrijeme rotacije alata i obradivane osovine nastaje odvalno gibanje, pri čemu se osovina giba i translatorno u smjeru svoje osi. Postepenim primicanjem alata, uz istodobno djelovanje tlačne sile, kalibrirani urezi sve više ulaze u osovinu do potrebne dubine, formirajući na njoj evolventno ozubljenje. Tečenjem materijala osovine njen vanjski promjer se povećava te nakon završetka takvog oblikovanja ova ima promjer povećan za približno dva modula. Osim očvršćenja površine formiranog zuba postiže se i hrapavost manja od 1/10 mikrometara.



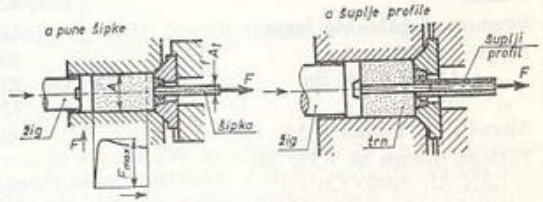
⑰ Proizvodnja ozubljenih dijelova utiskivanjem

22.7 PROIZVODNJA ŠIPKASTOG POLUFABRIKATA POMOĆU EKSTRUZIJE

Raznovrsni šipkasti materijali ①, puni i šuplji, od obojenih i lakih metala proizvode se danas pomoću tzv. istiskivanja ili ekstruzije. Zagrijani trupac metala stavlja se u kontejner preše, koji je s jedne strane zatvoren masivnim držačem matrica s otvorima odgovarajućih oblika i svijetlih presjeka, a sa suprotne strane tlači na čelo trupca tlačni žig preše, sabijajući i istiskujući materijal trupca kroz otvore matrice ②. Postupak datira još iz kraja prošlog vijeka, ali u praksu je počeo ulaziti u značajnijem opsegu pred 50 godina. Zasad je ograničen na ekstruziju neželjeznih metala, premda se posljednjih godina počelo i s ekstruzijom čeličnog materijala specijalne namjene. Prednost je postupka u mogućnosti proizvodnje profila najsloženijih presjeka, kako se, na primjer pomoću valjanja, ne bi mogli proizvoditi.



① Šipkasti materijali proizvedeni ekstruzijom (istiskivanjem)



② Postupak rada ekstruzijom

Proces ekstruzije sastoji se od faze sabijanja trupca i faze isprašivanja. Za vrijeme prve faze trupac se nešto skraćuje, promjer postaje jednak promjeru kontejnera, sila naraste do najveće vrijednosti, pri kojoj počinje istiskivanje kroz matricu. Za vrijeme istiskivanja sila F ili ostaje ista ili pomalo opada, kako shematski pokazuje dijagram na ②. Površina

ispod krivulje pritiska predstavlja utrošenu radnju ekstruzije. Planimetriranjem te površine određuje se tzv. specifičan potrošak energije izražen u kilovat-satima po toni ispršanog materijala. Taj potrošak iznosi za lake metale od 45 do 70 kWh/Mp. Od dužine trupca ispršava se 80—90%. Zadnjih 10% ne samo da se teže ispršava već bi ispršani materijal pokazivao stanovite nedostatke u obliku produženih šupljinica, pojačane troskastosti i slično.

22.71 Materijal trupca. Dobra kvaliteta ispršanog materijala zahtijeva i bespriekornu kvalitetu materijala trupca. On ne smije sadržavati nikakvih šupljina, unutrašnjih pukotina, nakupina troske i slično. Važno je da mu i struktura bude dovoljno jednolična. Da se izbjegnu šupljine i pojave razlučivanja težih elemenata od lakših, trupci se liju na poseban, tzv. bezdani način. Ipak i pri tome može doći do stanovitih strukturnih razlika po presjeku, kao i po dužini trupca, pa također i do razlika u kemijskom sastavu kod legura složenijih sastava. Ublažavanje tih razlika postiže se pomoću dovoljno dugog zagrijavanja tzv. homogenizacije u toku 8 do 15 sati. Obradom trupaca uklonit će se svi površinski nedostaci, kao što su smrznute kapljice metala, nezavareni preklopi, sitne pukotinice, šupljinice i oksidi. Na taj način postići će se optimalna kvaliteta ekstrudiranog materijala.

22.72 Temperatura i brzina ispršavanja. Nisu svi metali jednako prikladni za ispršavanje. Ima ih vrlo osjetljivih i sklonih raspucavanju i tzv. rascvjetavanju ispršane šipke. Kod takvih metala u prvom redu treba paziti na brzinu ispršavanja, koja mora biti relativno niska, tek nekoliko centimetara u sekundi. Pri većim brzinama javljaju se duboke poprečne pukotine i spomenuto rascvjetavanje. Tablica 1. prikazuje temperature i brzine ispršavanja za nekoliko vrsti metala. Dopuštene brzine ispršavanja ovise i o složenosti ispršanog profila te o debljini stijenke. Tankostijene i šuplje profile složenog presjeka treba sporije ispršavati, što donekle snizuje proizvodni kapacitet preše.

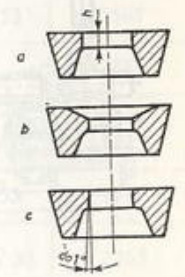
Temperature i brzine ispršavanja Tablica 1.

Metal	Temperature ispršavanja	Brzina ispršavanja cm/s
Aluminij	400—430	50—300
Bakar	830—900	30—150
Durali	420—460	2—7
Peralumani (Al—Mg legure)	410—450	10—30
Mjed: Ms 58	700—780	30—200
„ Ms 60 s 1% Sn	720—780	20—30
„ Ms 63	750—790	20—50
Aluminijska bronca s 5% Al	800—860	20—50
Niklena bronca sa 7,5% Ni 1,5% Al, ostalo Cu	760—830	10—30
Silicijeva bronca sa 3% Si	790—840	10—20

22.73 Prognječenost materijala. Lijevani materijal trupca treba tokom ispršavanja dobro prognječiti da bi se postigla zadovoljavajuća struktura i mehanička svojstva ispršanog materijala. Da se to postigne, važno je da vrijednost omjera bude $A/A_1 \geq 7$, gdje je A = presjek trupca, A_1 = presjek ispršane šipke. Praktički je A/A_1 vrlo često u granicama 20—40, ali kadšto i bitno veće. Pri ispršavanju aluminijske žice za električne vodove iz velikih trupaca je $A/A_1 = 1\,000 - 2\,000$, što nije povoljno i zbog čega se proces ispršavanja provodi izuzetno sporo, da bi se izašlo s raspoloživom tlačnom silom preše. Što je, naime, A/A_1 veće, to je potrebna i veća sila ispršavanja. Dogodi li se da zbog prevelikog A/A_1 proces ispršavanja zapne, treba A/A_1 smanjiti na taj način da se ispršavanje izvodi kroz veći broj matrica, što je, međutim, upotrebljivo samo za pune šipke i profile. Ispršavanje cijevi, odnosno šupljih profila izvodi se uvijek samo kroz jednu matricu zbog neophodnih trnova za formiranje unutrašnjeg svijetlog presjeka.

22.74 Sile ispršavanja. Znače li A = površina čela trupca, p = specifičan pritisak u kp/mm² na čelu trupca, tada je sila ispršavanja $F = A \cdot p$. Specifičan pritisak p ovisi o vrsti ispršanog metala, o omjeru A/A_1, o duljini trupca, o složenosti ispršanog profila, o brzini ispršavanja, o temperaturi ispršavanja pa se stoga kreće u širim granicama od samo 40—50 kp/mm² za ispršavanje punih profila jakih presjeka pa do 80—100 kp/mm² za ispršavanje složenijih tankostijenih i šupljih profila te za velike vrijednosti omjera A/A_1, za ispršavanje manje podesnih materijala ili za ispršavanje dugih trupaca uz veće brzine, odnosno kod nešto nižih temperatura i slično.

22.75 Oblikovanje i materijal matrice. Matrica kroz koju klizi ispršavani metal je mehanički i toplinski teško opterećeni alat. Svojim profilom u uzdužnom rezu te glatkoćom radne površine ona utječe na lakoću ispršavanja, na točnost profila šipke i na glatkoću površine ispršane šipke. Danas se služimo s ova tri oblika prema ③: cilindrični, odnosno paralelni oblik *a*, konični oblik *b* i oštri obli) *c*.



③ Oblici matrica: a — cilindrični, b — konični, c — oštri

Najviše se upotrebljava oblik *a* s blago zaobljenim ulaznim bridom i ne prevelikom duljinom h od 3 do 6 mm. Oblik *b* s koničnim ulazom primjenjuje se rado u slučaju malih promjera kontejnera te za ispršavanje cijevi. Oblik *c*, pri kojem su izvodnice konusa nagnute prema osi matrice pod kutom od 0,5 do 1°, rijetko se primjenjuje. On izaziva, doduše, nešto manje sile trenja, ali mu je vijek trajanja nešto kraći.

Materijal za matrice najčešće je alatni čelik visoke otpornosti pri povišenim temperaturama, legiran sa Cr, W, Mo, V.

To su čelici: Č. 8780 (šipke, profili) 30 W Cr V 53 jako opterećeni) — za lake metale

Č. 4752 (šipke, profili) Č. 6451 (profili, cijevi) — za obojene metale.

Tvrdoća ugrađene matrice je Mo do 160 HB.

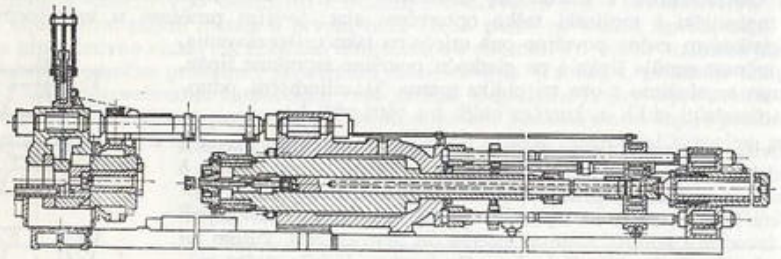
22.76 Ekstruzione preše. Grade se za sile od 650 do 15 000 Mp. Za proizvodnju raznovrsnog okruglog, četvrtastog i profiliranog materijala i cijevi srednjih veličina zadovoljavaju preše od 2 000 do 5 000 Mp. One se gotovo uvijek grade kao hidrauličke, pretežno u horizontalnoj izvedbi, jedino se male preše do 800 Mp za proizvodnju sitnijih cijevi grade i u vertikalnoj izvedbi. Dimenzije hidrauličkih cilindara i njihovih klipova određuju se s obzirom na hidraulički pritisak od 200 do 250 atmosfera. Računa se da se od hidrauličke sile na klipu prenese na trupac oko 90%.

Tablica 2. prikazuje standardizirane veličine preša i njihovih kontejnera, i to za određene specifične pritiske $p = \frac{F}{A}$ kp/mm².

Standardne veličine preša i njihovih kontejnera

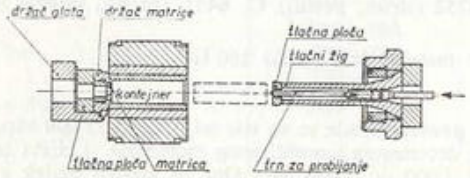
Tablica 2.

Tlačna sila preša < F Mp	Promjeri kontejnera u mm za specifične pritiske p kp/mm²				
	100	80	63	50	40
630	90	100	112	125	140
800	100	112	125	140	160
1 000	112	125	140	160	180
1 250	125	140	160	180	200
1 600	140	160	180	200	224
2 000	160	180	200	224	250
2 500	180	212	224	250	280
3 600	212	236	265	300	335
5 000	250	280	315	355	400



④ Horizontalna hidraulična ekstruziona preša

Teško opterećeni dijelovi preše jesu: tlačni žig i njegova tlačna ploča, tlačni trn, košuljica kontejnera, matrica i njezin držač. ④ pokazuje uzdužni presjek kroz horizontalnu



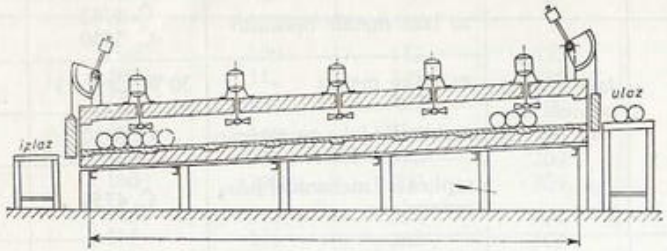
⑤ Detalji ekstruzione preše

hidrauličku ekstruzivnu prešu, a ⑤ samo neke detalje preše. Pravilan izbor materijala je preduvjet za dobar vijek trajanja navedenih dijelova i rentabilnost rada. Tablica 3. prikazuje pregledno koje marke čelika prema JUS-u, odnosno DIN-u dolaze u obzir.

Vrste čelika za dijelove preša Tablica 3.

Naziv dijela preše	Vrsta isprešanog metala	Vrsta proizvoda, odnosno opterećenja	Oznaka po JUS-u, odnosno DIN-u	Broj materijala
Tlačni žigovi	laki i teški obojeni metali	za lake metale općenito	Č. 5742 Č. 5430	2714 2767
		za teške metale	30 W Cr V 53	2567
		mehanički jako opterećeno	Č. 5430	2767
		toplinski i mehanički jako opterećeno	Č. 4751	2343
Tlačne ploče	laki metali	jača opterećenja	Č. 6443	2542
		malo lijeplienje	Č. 4751	2343
	teški metali	općenito	45 Cr Mo W 58	2603
		jača opterećanja	30 W Cr V 53	2567
		najveća opterećenja	Č. 6451	2581
Tlačni trnovi za probijanje trupaca	laki metali	velike cijevi ø 50 – 100 mm	45 W Cr V 77 45 Cr Mo V 67	2547 2323
		jako opterećeni ø 40 mm	30 W Cr V 53	2567
	teški metali i specijal legure	za temperaturu prešanja 800° C	32 Cr Mo V 33	2365
		tvrdoća 40 mm	Č. 6451	2581
		najteža opterećenja	30W Cr CoV 93	2662
Tlačna ploča ispod matrice	laki i teški metali	općenito	40 Cr Mn Mo 7	2311
		za teža opterećenja	Č. 5742	2714
Košuljice kontejnera	laki i teški metali	općenito	45 Cr Mo V 67	2323
		veća toplinska i mehanička opterećenja	Č. 4751	2343
		za najteže slučajeve	30 W Cr V 41	2564
Kućište kontejnera	laki i teški metali	zagrijavani kontejner	40 Cr Mn Mo 7	2311
		toplinski jače opterećen	45 Cr Mo V 67	2323

22.77 Peći za zagrijavanje trupaca. Prije ekstruzije trupci se najčešće zagrijavaju u elektrootpornim pećima tunelskog tipa ⑥. Blago skošeni pod peći, prekrit željeznim pločama, olakšava njihovo kotrljanje od ulaza prema izlazu. Peći imaju automatsku regulaciju temperature. Umjetna cirkulacija zraka pomoću propelera, upuštenih kroz



⑥ Elektrootporna peć tunelskog tipa za zagrijavanje trupaca

strop peći, osigurava jednoliku razdiobu temperature u ložnom prostoru peći. Trajanje zagrijavanja trupaca u tim pećima može se približno odrediti iz empiričke formule:

$$\tau = 16 \cdot \sqrt{D}$$

Duljina tunela peći L ovisi o trajanju zagrijavanja τ i o broju isprešanih trupaca n u 1 satu, a određuje se iz formule:

$$L = \frac{n \cdot \tau \cdot D}{60 \cdot 1\,000} \text{ metara}$$

Preduge peći izbjegavaju se slaganjem trupaca u dva reda.

22.8 VALJANJE

Valjanjem zagrijanog ili hladnog metalnog materijala između dva valjka istosmjernog rotacijskog gibanja provodi se pod djelovanjem sile plastična deformacija kontinuiranog sabijanja. Ona izaziva smanjenje debljine, produženje i proširenje. Određenim programom valjanja, odnosno višestrukim prolazom kroz valjke, čiji se razmak može podešavati, ili prolazom kroz kalibre valjaka moguće je izvesti stanjenje na potrebne dimenzije. Deformacijom metala mijenjaju mu se fizikalna i tehnološka svojstva, a stupanj promjene ovisi o temperaturnom stanju materijala, o sastavu i o stupnju deformacije. Valjati se mogu plastični metalni materijali: bakar, aluminij i njihove legure, čelik, i dr. Međutim, daleko najveći broj valjaonica namijenjen je valjanju čelika jer se i najveći dio proizvedenog čelika prerađuje u polufinalne i finalne proizvode valjanjem. Primjena valjanih čeličnih proizvoda je raznolika i neophodna u svim područjima tehnike.

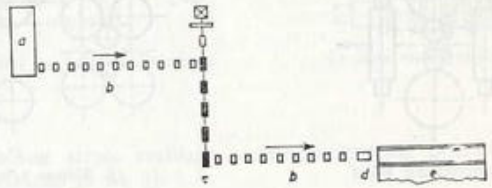
22.81 Termička obrada pri valjanju čelika ima svrhu ili da materijal dovede u stanje optimalne plastičnosti ili da se ostvare promjene strukture ili mehaničkih osobina.

Primjenjuju se postupci zagrijavanja, normaliziranja, mekog žarenja, žarenja zbog uklanjanja unutarnjih naprezanja, predžarenja, međužarenja, zaključnog i svijetlog žarenja. Ti postupci obrađeni su u poglavlju 11.353.

22.82 Valjaonice se dijele prema proizvodima. Razlikujemo bluming-valjaonice i slabing-valjaonice, valjaonice profila s teškim, srednjim i lakim prugama, valjaonice debelog lima iz brama i slaba, valjaonice srednjeg i tankog lima, traka i cijevi.

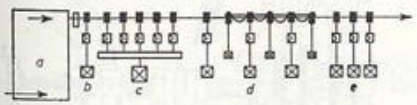
1 — Prema temperaturi valjanja se dijele na topla i na hladna. Zagrijani valjani materijal relativno se lakše plastično oblikuje pa će se toplo valjanje upotrebljavati za veće presjeke i redukcije materijala. Hladno valjanje obavlja se pri temperaturi okoline, pri čemu je plastična deformacija otežana uz pojavu velike sile. Hladnim valjanjem mogu se postići glatke površine i uske tolerancije valjane robe, očvršćenje valjanog materijala. Najčešće se hladno valjanje primjenjuje u proizvodnji tankih limova, traka i žice.

2 — Prema načinu valjanja i rasporedu strojeva i uređaja u valjaonici razlikujemo tri osnovna tipa valjaoničkih pruga: otvorenu, kontinuiranu i polukontinuiranu prugu. Na ① prikazana je shema otvorene pruge, koja se sastoji od peći (a), staze za transport materijala (b), valjačkog stroja (c), škara (d) te prostora za hlađenje izvaljane robe (e). Više pojedinačnih duo-sistema ili trio-sistema valjaka postavljeno je u jednoj osi, pri čemu svi valjci imaju isti broj okretaja. Promjene brzina u pojedinim parovima valjaka postižu se različitim promjerima valjaka.

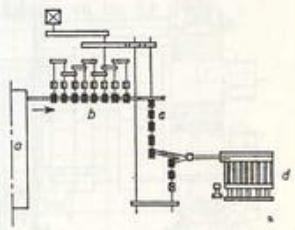


① Shema otvorene pruge za valjanje

3 — Pri kontinuiranoj pruzi primjenjuju se sistemi duo-valjaka ili kvatro-valjaka u nizu tako da valjani materijal može istodobno prolaziti kroz dva ili više parova valjaka. ② prikazuje shemu takve pruge namijenjene toplom valjanju lima. Iz peći (a) materijal se prethodno valja na grube dimenzije (b i c), zatim kontinuirano dolazi na srednju (d) i završnu prugu (e). Valjci za grubo valjanje i prvi valjci srednje pruge obično imaju višestruk grupni pogon, dok posljednji valjci srednje pruge i valjci završne pruge imaju pojedinačan pogon. Brzine toplog valjanja traka su do 12 m/s, a žica i do 33 m/s. Kontinuirana pruga ekonomična je pri masovnoj proizvodnji, a najčešće služi za valjanje limova i cijevi. Polukontinuirana pruga ③ je kombinacija prije spomenutih te uz peći (a) uključuje kontinuiranu prugu za valjanje na grube dimenzije (b), otvorenu prugu za završno valjanje (c) i prostor za hlađenje (d).

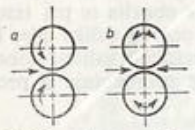


② Shema kontinuirane pruge za toplo valjanje lima

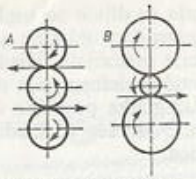


③ Polukontinuirana pruga za valjanje

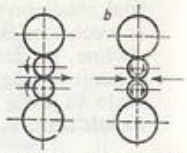
22.83 Sistemi valjaka valjačkog stroja razlikuju se po broju, relativnom smještaju, dimenzijama, smjeru vrtnje i namjeni. Za toplo valjanje primjenjuje se duo-sistem ④ s mogućnošću podešavanja međusobne udaljenosti valjaka. Prema mogućnostima smjera



④ Duo-sistem valjaka

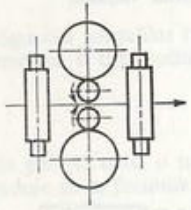


⑤ Trio-sistem valjaka

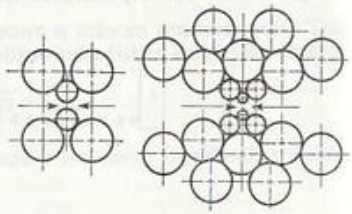


⑥ Kvatro-sistem valjaka

vrtnje razlikujemo reverzibilni i ireverzibilni duo. Trio-sistem ⑤ omogućava prolaz između gornjeg i srednjeg te srednjeg i donjeg valjka. Pogon se daje gornjem i donjem valjku. Trio sa srednjim valjkom manjeg promjera služi za valjanje limova. Kvatro-

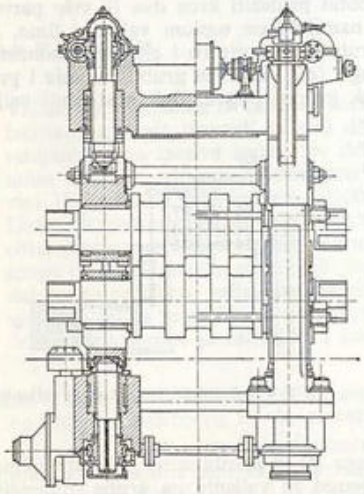


⑦ Univerzalni valjci

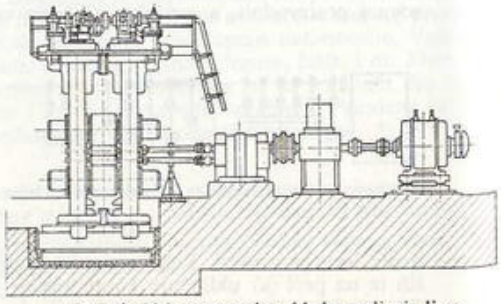


⑧ Sistem s mnogo valjaka

-sistem ⑥ prim sejenjuje za valjanje limova i širokih traka. Dva srednja valjka su radni valjci manjeg promjera, dok je zadatak vanjskih smanjenje progiba. Univerzalni valjci ⑦ mogu biti izvedeni kao duo ili kvatro sa dva okomito postavljena para valjaka, pri čemu su razmaci među svim valjcima podesivi.



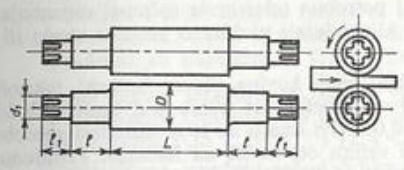
⑨ Valjački duo-stroj



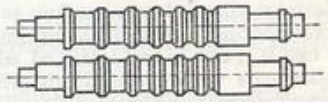
⑩ Valjački kvatro-stroj za hladno valjanje lima

Za hladno valjanje traka manjih dimenzija i tankih limova osim duo-sistema upotrebljava se i trio-sistem ⑥ s pogonom na donjem valjku. Za hladno valjanje traka upotrebljava se i kvatro-sistem u reverzibilnoj i ireverzibilnoj izvedbi. Sistemi s mnogo valjaka ⑧ upotrebljavaju se za valjanje tankih limova strogih tolerancija debljine.

22.84 Valjački strojevi svih sistema valjaka u osnovi su izgrađeni od krutog livenog okvirnog postolja s ležajima za valjke. Konstrukcija postolja omogućava relativan vertikalni pomak gornjih ležaja, a time i razmak između valjaka. Ležajni okviri su na prikladan način osigurani od preopterećenja. Na ⑨ prikazan je duo-stroj za valjanje slaba u tri različite dimenzije. Pogon valjačkih strojeva redovito je s elektro-motorom sa zamašnjakom ili bez zamašnjaka uz odgovarajući reduktor. Na ⑩ prikazan je izgled kvatra s prigonom za hladno valjanje lima debljine 1 do 2,5 mm, širine do 450 mm.



⑪ Glatki valjci za valjanje limova



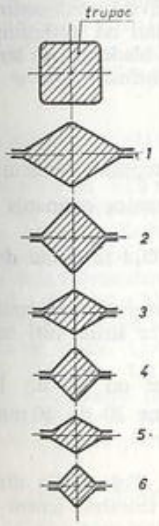
⑫ Kalibrirani valjci za valjanje profila

22.841 Valjci valjačkog stroja razlikuju se prema izgledu površine. Glatki valjak za valjanje limova prikazan je na ⑪.

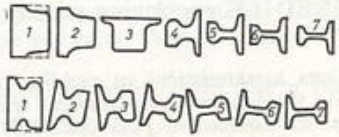
Uočava se radna dužina valjaka (L), rukavac ležaja (l) i rukavac spojke (l_1). Zbog sile valjanja postoji tendencija progiba valjaka, što se izbjegava blagim bombiranjem na radnoj dužini te tako postiže jednaka debljina presjeka valjanog materijala.

Kalibrirani valjak, prikazan na ⑫, ima na radnoj dužini urezan potreban broj kalibara, kroz koje se sukcesivnim prolazom valjanog materijala postiže odgovarajući profil.

Na ⑬ prikazan je redosljed kalibriranog valjanja slaba. Načini kalibriranja pri valjanju željezničke tračnice, odnosno jednakokrakog kutnog profila, prikazani su na ⑭ i ⑮.



⑬ Redoslijed kalibriranog valjanja slaba



⑭ Kalibrirano valjanje željezničkih tračnica

⑮ Kalibrirano valjanje kutnika

22.842 Materijali valjaka odabiru se prema namjeni valjaka. Kalibrirani valjci s duboko urezanim kalibrima izrađuju se od čelika ili čeličnog liva, žareni ili poboljšan i Sadržaj ugljika kreće se od 0,35 do 1,0% uz legirane dodatke Cr 0,6 do 2% Ni otprilike 0,6% i Mo kojih 0,3%.

Teški kalibrirani valjci za predvaljanje ili grubo valjanje za željezničke tračnice, platine, teške profile i debele limove načinjeni su od sivog liva odlivenog u pijesku. Postizava se relativno dobra žilavost na račun otpornosti na habanje. Glatki valjci za toplo završno valjanje manjih profila i žice također su po sastavu od sivog liva, ali odliveni u metalne kokile, dok su pri tom rukavci odliveni u pijesak. Naglim ohlađivanjem na stijenki kolike postiže se tvrda bijela kora odljevka. Sadržaj ugljika je otprilike 3,5%, a zbog povećanja debljine tvrde bijele kore liv se legira sa Ni, Cr i Mo. Za hladno valjanje tanjih traka upotrebljavaju se glatki čelični cementirani valjci.

22.843 Ležaji valjaka su vitalan element valjačkog stroja zbog velikih sila valjanja, vrlo visokih specifičnih pritisaka i osjetnih gubitaka energije zbog trenja. Osim navedenih faktora na izbor vrste ležaja utječe i potrebna tolerancija točnosti dimenzija valjanih proizvoda. Izvode se kao dvodijelni klizni ležaji uloženi u postolje stroja ili kao kotrljajući ležaji.

Blazinice kliznih ležaja izrađuju se od metala (bijela kovina, olovna bronca), tekstolita i drva (specijalne vrste ili komprimirano drvo). Koeficijent trenja kod brončanih ležaja je oko 0,1, dok je kod ležaja od tekstolita 0,01. Ovi imaju uz to izvanrednu sposobnost podnošenja visokih specifičnih pritisaka te veliku otpornost na habanje. Primjenu im ograničuje maksimalno dopuštena temperatura od 120°C, što ih isključuje za primjenu kod nehlađenih valjaka za toplo valjanje. Klizni ležaji s metalnim blazinicama podmazivani pod visokim pritiskom odlikuju se sposobnošću podnošenja velikih specifičnih pritisaka i velike brzine te rade s minimalnim koeficijentom trenja (tekuće trenje). Kotrljajući ležaji valjaka, koji se u suvremenim izvedbama sve češće nalaze, sa stanovišta gubitaka energije su zbog trenja dobro rješenje (koeficijent trenja 0,005 do 0,01), no visoka cijena i velika osjetljivost na nečistoću još uvijek im ograničava primjenu. Podmazivanje metalnih ležaja uobičajeno je s tvrdim masnim mazivima utiskivanjem. Cirkulacijsko podmazivanje pod visokim pritiskom je unatoč nesumnjivim prednostima rjede zbog sigurnosti pogona i čestog kvarenja tlačnog sistema. Ležaji od umjetnih smola redovito se podmazuju samo vodom, koja se ionako dovodi radi hlađenja, no kod većih specifičnih pritisaka obavlja se ipak i dodatno podmazivanje mastima.

22.85 Valjani čelični proizvodi (Vidi tablicu 11.53.)

Za valjanje gotovih proizvoda služe valjani polufabrikati dobiveni toplim valjanjem ingota:

1 — BLUM kvadratnog ili pravokutnog presjeka, čija je stranica najmanje dužine 125 mm, a odnos debljine i širine 1 : 1 do 1 : 2

2 — SLAB pravokutnog presjeka najmanje debljine 40 mm, čija je širina dva puta veća od debljine

3 — PLATINA pravokutnog presjeka najveće debljine (ishodni oblik materijala za tanki lim) 40 mm, a najmanje širine 150 mm, pri čemu će širina biti najmanje četiri puta veća od debljine

4 — KVADRATNE GREDICE različitih duljina stranice od 50 do 125 mm

5 — PLOSNATE GREDICE pravokutnog presjeka debljine 30 do 40 mm a širine 50 do 100 mm.

Kod svih tih polufabrikata karakteristični su zaobljeni uglovi. Tolerancija dimenzija im je u granicama ± 3 do 5% a dopušteno odstupanje težine od teoretske iznosi ± 6%. Ti proizvodi obuhvaćeni su standardom JUS C.B2.021.

Gotovi proizvodi dobiveni valjanjem svrstani su u tri osnovne skupine: limovi, valjani [illegible]ijevi.

22.851 Limovi se proizvode valjanjem u toplu i u hladnu stanju. Toplo valjane limove razlikujemo prema debljinama.

1 — Debeli limovi isporučuju se u različitim kvalitetama materijala, a zajednička im je karakteristika debljina veća od 5 mm. Dimenzije limova, a napose širina, ovise o mogućnostima valjaonice. Dopuštena odstupanja širine lima ovise o debljini i određena su standardom.

2 — Srednji limovi valjaju se u toplu stanju iz običnih ugljičnih strojogradevnih čelika u termički neobrađenom stanju, no moguće je valjati ih i iz čelika za gradnju kotlova, za termičko poboljšavanje i za cementaciju. Zajednička karakteristika im je debljina od 3 do uključivo 4,75 mm. Na tržište dolaze u formatima 1 000 × 2 000 mm ili 1 250 × 2 500 mm, ali se mogu dobiti i u većim dužinama i širinama. Tolerancija širine je ±15 mm, a dužine ±25 mm.

Tolerancija debljine limova ovisna je o dužini i širini, a vrijednosti su dane standardom JUS C.B4.111.

Važne su i tolerancije razlika najdebljeg i najtanjeg mjesta na limu. Ove su ovisne o debljini i širini lima te iznose za limove do 10 mm debljine do +2,4 mm². Za veće debljine i širine ta tolerancija dosiže vrijednost i do +3,4 mm². Svi ti propisi regulirani su standardom JUS C.B4.110.

3 — Tanki limovi izrađuju se toplim valjanjem u standardnim veličinama 1 000 × × 2 000 mm. Izrađuju se s užim i širim tolerancijama debljine, što je regulirano standardima JUS C.B4.113 i JUS C.B4.112.

Tanki limovi izrađuju se od čelika s negarantiranim kemijskim sastavom vlačne čvrstoće do 33 kp/mm² i od čelika s garantiranim mehaničkim osobinama. Uz oznaku kvalitete materijala nose i oznaku stanja površine P_1, P_2, P_3, P_4 i P_5. Kad je površina lima bez oksida uz neznatnu hrapavost i ogrebotine, označava se sa P_4. Oznaka P_5 pridaje se besprijekornom svijetlom izgledu površine koja može biti sjajna ili mat. Takvi limovi kvalitete Č. 0147 ili Č. 0148 upotrebljavaju se za izradu različitih proizvoda dubokim vučenjem. Kvalitete i osobine tankih limova od niskougljičnog čelika negarantiranog sastava dane su standardom JUS C.B4.016, a tankih limova načinjenih od čelika s garantiranim mehaničkim osobinama standardom JUS C.B4.017.

U skupinu tankih limova spadaju i vruće valjani limovi za električne strojeve i aparate (JUS C.K5.020) te pocinčani limovi (JUS C. B4.081).

22.852 Hladno valjane trake izrađuju se u širinama i većim od 600 mm, a isporučuju se ili savijene u kolutove ili ravnane u dužinama od 2 000 do 4 000 mm. Tolerancije dužine su +10 mm za trake dužine do 2 000 mm, a preko 2 000 mm tolerancija je + 0,5%. Tolerancija širine kreće se ovisno o širini i debljini trake u granicama od ± 0,2 do ± 1,0 mm. Hladnim valjanjem izrađuju se trake debljine od 0,08 mm do 5,0 mm s tolerancijom debljine od 0,1 mm do 0,17 mm (za veće debljine i širine). Propisi za te trake dani su standardom JUS C.B3.521 i JUS C.B3.522. Ovisno o eventualnoj termičkoj obradi i postupku hladnog valjanja, moguće je kod niskougljičnih čelika dobiti od istog materijala različite stupnjeve tvrdoće i različite mehaničke osobine, koje određuju i primjenu trake. Uobičajeni stupnjevi tvrdoće trake jesu: meko žarena, ojačana, 1/8 tvrda, 1/4 tvrda, 1/2 tvrda, 3/4 tvrda, tvrda i svijetlotvrda. Za duboko vučenje, utiskivanje i savijanje najčešće se upotrebljavaju prva tri stupnja tvrdoće. Ostale tvrdoće uobičajene su za štancanje prosijecanjem. Za hladno valjane trake karakteristična je svijetla i glatka površina kao posljedica hladnog valjanja.

22.853 Profili dobiveni toplim valjanjem izrađuju se u različitim presjecima.

1 — Okrugao profil (JUS C.B3.021) izrađuje se od 6 do 125 mm promjera u različitim kvalitetama čeličnog materijala: od čelika s garantiranim mehaničkim svojstvima, čelika za automate, cementaciju i poboljšavanje.

2 — Kvadratni profil (JUS C.B3.024) valja se sa stranicom od 8 do 125 mm u istim kvalitetama kao okrugao čelik. Isporučuje se u šipkama, no za debljine manje od 15 mm moguća je isporuka i u kolutu.

3 — Pravokutni profili valjaju se u više oblika: kao plosnati (JUS C.B3.025) širine 10 do 140 mm i debljine 5 do 40 mm, kao široki plosnati (JUS C.B3.030) širine 150 do 640 mm i debljine 5 do 40 mm te kao trakasti čelik (JUS C.B3.550) širine 10 do 190 mm i debljine 1 do 5 mm.

Dok se prva dva mogu valjati iz čelika različitih kvaliteta, posljednji se valja samo od čelika s garantiranim mehaničkim osobinama. Dopuštena odstupanja od osnovnih dimenzija relativno su velika.

4 — Šesterokutni profil (JUS C.B3.026) valja se u dimenzijama otvora ključa 10 do 80 mm različitih vrsta čelika, kao i okrugli profil. Dopuštena odstupanja identifikacijske dimenzije jednaka su kao i kod kvadratnog profila.

5 — Profil jednakokraki kutni (JUS C.B3.101) valja se u dimenzijama od 20 × × 20 × 3 do 200 × 200 × 18 mm, dok se kutni raznokraki profili (JUS C.B3.111) valjaju u dimenzijama 20 × 30 × 4 do 100 × 200 × 14 mm. Dopuštena odstupanja visine su od ± 1 mm do ± 4 mm.

6 — I-nosači (JUS C.B3.131) izrađuju se od visine 80 do 400 mm s dopuštenim odstupanjem ± 2 do ± 4 mm.

7 — U-profili (JUS C.B3.141) imaju visinu od 65 do 300 mm, a granice dopuštenih odstupanja jednake su im kao i kod I-profila, ovisno o veličini.

Posljednja tri profila izrađuju se od ugljičnih čelika s garantiranim mehaničkim osobinama i od čelika za nosive konstrukcije.

Osim navedenih valjaju se i specijalni profili za prstenove, gibnjeve, opruge, vage, prozore itd.

Zbog specijalnih zahtjeva toplo valjani profili naknadno se obrađuju i drugim načinima plastične deformacije, i to redovito u hladnu stanju.

22.854 Hladno vučeni profil je finalni proizvod koji se upotrebljava kao osnovni element od kojeg se zahtijevaju točne dimenzije i tolerancije, svijetla, glatka i kompaktna površina. Ovisno o stupnju hladne deformacije provlačenjem, mehaničke osobine određenog materijala mogu se mijenjati. Na taj način se izrađuju različiti profili od ugljičnih i niskolegiranih čelika, no oni se mogu izrađivati i od čelika ostalih kvaliteta. Opće upute o vučenim čelicima daje JUS C.B3.402. Najčešći je okrugao profil, koji se izrađuje u promjerima od 10 do 80 mm s tolerancijom ISO h 11 (JUS C.B3.411) i ISO h 9 (JUS C.B3.412), nadalje kvadratni profil stranice od 3 mm do 80 mm s tolerancijom ISO h 11 (JUS C.B3.421) te plosnati (JUS C.B3.431) i šesterokutni profil (JUS C.B3.441).

Svi ti profili mogu se dobivati u hladnom, hladno vučenom i žarenom, odnosno normaliziranom stanju.

22.855 Žica je također finalni proizvod, nastao od toplo valjanog okruglog profila čiji se definitivni oblik postiže provlačenjem. Ovisno o promjerima razlikujemo finu (promjera 0,1 do 1,0 mm), tanku (promjera 1,2 do 1,8 mm), srednju (promjera 2 do 4,6 mm) i debelu žicu (promjera 5 do 14 mm). Tolerancija promjera obične žice kreće se u granicama od ± 0,005 mm do ± 0,15 mm, ovisno o promjeru. Žica od niskougljičnog čelika Č. 0145 izrađuje se kao meka i kao tvrda. Kao meka dolazi modro žarena i pocinčana (žarena i termički pocinčana), a kao tvrda, što je posljedica provlačenja, ima čvrstoću od 45 kp/mm² naviše. Površina je glatka, dok izgled površine ovisi o načinu proizvodnje. JUS C.B6.010 propisuje uvjete proizvodnje i isporuke, kao i dimenzije tog proizvoda.

Specijalna vučena žica (JUS C.B6.011) također se izrađuje od Č. 0145, ali različitih mehaničkih osobina, koje karakteriziraju stupnjevi tvrdoće: meko žarena žica, 1/8 tvrda, 1/4 tvrda, 1/2 tvrda, 3/4 tvrda i tvrda. Ova posljednja ima vlačnu čvrstoću i veću od 60 kp/mm². Specijalna žica isporučuje se različitog sjaja i boje površine, ovisno o procesu proizvodnje ili pak s površinom zaštićenom pobakrivanjem, fosfatiranjem ili pocinčavanjem. Vučena žica za termičku obradu i specijalnu upotrebu (JUS C.B6.012) razlikuje se od prije navedenih po materijalima koji se za taj proizvod upotrebljavaju ovisno o namjeni žice. Stanja isporuke, tvrdoće i površine mogu biti istovrsna kao i kod prije spomenutih žica.

22.856 Cijevi su šuplji tankostijeni profili okruglog, četvrtastog ili kojeg drugog presjeka dobiveni postupkom valjanja. Razlikujemo bešavne i šavne cijevi. Bešavne cijevi dobivene su valjanjem u toplu stanju ili prešanjem, a moguća je dorada cijevi i hladnim valjanjem ili kalibriranjem.

Šavne cijevi dobivaju se od čeličnih traka određene širine i debljine prethodno uvijenih na okrugao oblik koje se na dodirnom mjestu zavaruju različitim postupcima zavarivanja.

Isključivo područje primjene bešavnih cijevi je u kotlogradnji, geološkim bušenjima, industriji dobivanja i prerade nafte i strojogradnji, općenito ondje gdje su nužna dobra mehanička svojstva. Šavne cijevi načelno se primjenjuju ondje gdje nije potrebno podnošenje većih pritisaka, temperatura ili naprezanja.

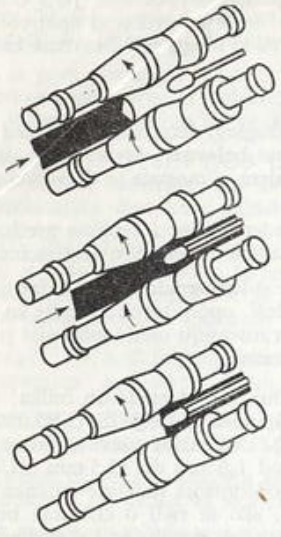
1 — Bešavne cijevi toplo valjane, izrađuju se od različitih čelika: s propisanim mehaničkim osobinama (JUS C.B5.021) i bez njih (JUS C.B5.020) i otpornih na povišene temperature (JUS C.B5.022). Dimenzije cijevi kreću se od promjera 10 mm do 560 mm, a debljina stijenke od 1,6 mm do 12,5 mm (JUS C.B5.221). Po propisima JUS C.B5.221 dopuštena odstupanja debljine stijenke promjera do 130 mm jesu ± 10%, odnosno ± 15%, ako se radi o cijevima bez propisanih mehaničkih osobina. Povećanjem promjera povećavaju se i dopuštena odstupanja pa ova kod najvećih promjera iznose ± 15%, odnosno ± 18% u drugom slučaju. Dopušteno odstupanje vanjskog promjera iznosi ± 0,5 mm za promjere do 50 mm. Za veće promjere ono iznosi ± 1 mm.

2 — Bešavne cijevi, hladno valjane ili hladno vučene, dobivene su jednim ili drugim načinom prerade nakon toplog valjanja. Općenito su tolerancije tih cijevi uže od onih toplo valjanih (JUS C.B5.230). Za istu vrstu čelika takvom preradom cijevi moguće je postići različite mehaničke osobine i stanja površine. Trgovačka kvaliteta obuhvaća svijetlo vučene i meko žarene bešavne cijevi. Prve su glatke i svijetle površine, relativno više čvrstoće, ali bez sposobnosti za daljnju hladnu plastičnu deformaciju. Druge su meko žarene nakon završene hladne prerade, što im omogućava plastičnost, no ostavlja oksidiranu površinu. Takozvane precizne cijevi nisu standardizirane u našoj zemlji i za njih se primjenjuje DIN 2391, a karakteristične su po uskim tolerancijama. Stanja pri isporuci su raznolika. Svijetlo vučene tvrde su podjednakih osobina kao već spomenute cijevi trgovačke kvalitete. Svijetlo vučene meke bile su nakon termičke obrade još jednom provučene s malim stupnjem deformacije da bi se postigla svijetla površina. Meko žarene i normalizaciono žarene cijevi dobre su deformabilnosti, s oksidom i bez njega, ovisno o tome da li se oksid skida pomoću mehaničkih ili kemijskih sredstava ili ne. Normalizacijsko svijetlo žarene cijevi su termički obrađivane u neutralnoj atmosferi peći pa im je uz dobru deformabilnost sačuvana i svijetla površina.

3 — Proizvodnja bešavnih cijevi dobivenih toplim valjanjem sastoji se od dviju osnovnih faza: izrade debelostijene kratke cijevi iz gredice kvadratičnog presjeka i valjanja radi stanjenja stijenke. Kalibriranje debelostijene kratke cijevi po Mannesmannovu postupku prikazano je na (10), a obavlja se pomoću trna i para posebno profiliranih valjaka, međusobno ukrštenih osi pod kutom od 3 do 6°.

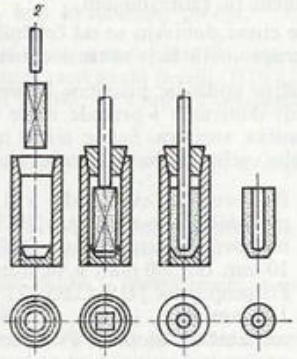
Drugi način izrade je Erhardtov postupak zaprešavanja trna u blok, prikazan na ⑰ u različitim fazama.

Osim spomenutih postoji još i niz drugih postupaka manje ili više sličnih opisanima.



⑯ Kalibriranje debelostijene kratke cijevi Mannesmannovim postupkom

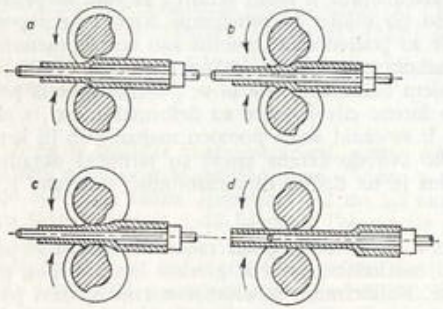
Valjanje u toplu stanju radi stanjenja stijenke pomoću trna («pilgerovanje») prikazano je na ⑱. Nakon zahvata posebno kalibriranih valjaka (a) počinje stanjenje stijenke valjanjem (b). Kad je postignut određeni promjer cijevi (c), ova se glača (d). Slijedi aksijalni pomak trna pa novi dio debele stijenke dolazi među valjke. Ciklus valjanja



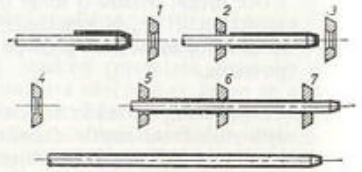
⑰ Erhardtov postupak zaprešavanja trna

kod cijevi malih promjera obavlja se sa 300 o/min, a kod najvećih promjera sa 30 o/min. Postupak se primjenjuje za cijevi promjera 40 do 580 mm.

Po Erhardtovu postupku cijevi se stanjuju provlačenjem debelostijene čahure koja se zagrijana nasađuje na trn i provlači pomoću horizontalne hidrauličke prese kroz sistem matrica ⑲. Na taj se način provlače bešavne cijevi promjera 60 do 140 mm manjih dužina. Proizvodnja se kreće od 300 kom na sat s brzinom provlačenja 5 do 6 m/s, Za proizvodnju bešavnih cijevi taj je način u Evropi manje uobičajen, ali se zato primjenjuje u proizvodnji čeličnih boca za komprimirane plinove. Stanjivanje se može izvesti i po kontinuiranom postupku preko trna i pomoću kalibriranih valjaka.



⑱ Valjanje (pilgerovanje) u toplu stanju



⑲ Sistem matrica horizontalne hidrauličke preše za stanjivanje stijena cijevi

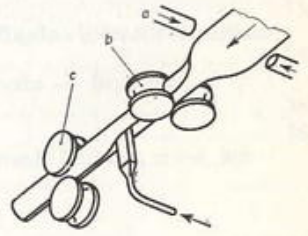
Osim spomenutih poznati su Dieselerov, Asselov i Kocksov postupak stanjivanja cijevi.

Ekonomičnost valjanja cijevi uvjetovana je programom valjanja što manjeg broja različitih cijevi. Za dobivanje širokog asortimana različitih dimenzija cijevi primjenjuju se: smanjenje promjera provlačenjem u toplu stanju (900° C), pri čemu debljina stijenke ostaje približno ista, reduciranje promjera valjanjem, proširivanje promjera cijevi valjanjem pomoću tanjurastih valjaka i trna. Nakon termičke obrade redovito slijedi zagladivanje površine i ravnanje.

4 — Proizvodnja bešavnih čeličnih boca. Kao ambalaža za komprimirane plinove izrađuju se općenito na dva načina. Od cijevi i iz punoga. Pri prvom načinu polazi se od odreska bešavne cijevi odgovarajućih promjera i duljine, koji treba s oba kraja zatvoriti. Taj način primjenjuje se u valjaonicama bešavnih cijevi. Pri drugom načinu izrade polazi se od okruglog punog odreska, koji se usijan stavlja u kontejner vertikalne preše pa se u nj utiskuje trn promjera nešto malo većeg od unutarnjeg promjera gotove boce slično kao na ⑰. Time se dobiva debelostijena čahura s polukugličastim dancetom, koja se zatim natakne na trn horizontalne preše od kojih 250—300 tona i provlači užarena kroz 4—5 matrica sve manjeg promjera — vidi ⑲ — te kroz negonjene valjke za kalibriranje i na kraju natiskuje u kalupu za stanjenje i završno oblikovanje danceta. Pri povratnom gibanju trna te preše skida se boca s trna, pri čemu dolazi do stanovitog gužvanja neravnog ruba boce. Nakon odrezivanja izgužvanog ruba boca odlazi na zatvaranje, odnosno na formiranje grla. To zatvaranje može se izvesti na više načina. Čest način sastoji se u tome da se boca užarena na zatvorenu kraju stavi u poseban uređaj, u kojem boca rotira i uzdužno se pomalo tiska prema dvodijelnom kalupu, koji pokreće vertikalni čekić. U tom kalupu se kraj boce postepeno zatvara u polukrugličast oblik sa završetkom u obliku više ili manje produženog grla. Za formiranje spomenutog grla služi poseban trn, oko kojeg se iskiva stijenka grla boce.

Lagane (tanjuraste) boce za visokotlačne plinove grade se od legiranih vrsta čelika otprilike sa 1% Cr, 0,15% Mo, koji se nakon plastičnog oblikovanja podvrgavaju postupku toplinskog poboljšavanja, čime se postiže čvrstoća oko 100 kp/mm²

5 — Proizvodnja šavnih cijevi u hladnu stanju uključuje hladno formiranje kružnog presjeka iz limenih traka i zavarivanje rubnog spoja. Presjek se formira valjanjem kalibriranim valjcima ili provlačenjem kroz matricu pomoću trna. Oba postupka daju podužni šav. Cijevi se mogu spiralno formirati odgovarajućim namatanjem trake oko trna, koji određuje unutarnji promjer, i to se često primjenjuje za izradu cijevi velikih promjera. U takvu slučaju nastaje spiralna šavna cijev. Zavarivanje spoja cijevi može se izvesti praktički svim postupcima zavarivanja. S obzirom na izvor topline razlikujemo otporno, visoko frekventno, indukcijsko (uz pomoć pritiska), plinsko i električno zavarivanje, bilo da se to provodi s vidljivim električnim lukom sa specijalnom zaštitnom atmosferom ili bez nje, ili da se primijeni zavarivanje pod praškom.



⑳ Proizvodnja šavnih cijevi u toplu stanju

Šavne cijevi proizvode se i u toplu stanju, što olakšava formiranje limene trake u kružni presjek, a može koristiti i kvaliteti zavara osjetljivih čelika. Na ⑳ prikazano je načelo jednog od mnogih postupaka izrade šavnih cijevi u toplu stanju. Limena traka zagrijava se plinskim sapnicama (a) prije ulaska u valjke za formiranje kružnog presjeka (b), a spoj se zavaruje valjkastim kalibriranim elektrodama (c). Poput bešavnih, i šavne cijevi se dorađuju reduciranjem ili proširivanjem na potrebne dimenzije.

GRIM Miroslav, dipl. inženjer strojarstva

LIJEVANJE

23.01 KALUPNI MATERIJAL 726
Ljevački pijesak — Ispitivanje, ocjena i priprema ljevačkog pijeska — Vezivna sredstva — Dodaci
23.02 IZRADA KALUPA 729
Kalupnici — Kalupljenje u kalupnicima i bez kalupnika — Izrada jezgri — Modelne ploče
23.03 SUŠENJE KALUPA I JEZGRI 732
Proces sušenja — Sušare — Pojave pri sušenju
23.04 IZRADA MODELA 734
Materijali — Skupljanje i negativni dodaci — Dodaci za obradu — Zakošenja — Bojenje modela — Tolerance za točnost modela
23.05 SASTAVLJANJE ZASIPA ZA SIVI LIV 738
Sirovo željezo — Specijalno sirovo željezo i ferolegure — Lomljevina sivog liva i čelični otpaci — Stupanj zasićenosti — Izgor i dogor u kupolnoj peći — Sredstva za odsumporivanje — Primjer proračuna
23.06 PEĆI ZA TALJENJE SIVOG LIVA 741
Plamene — Kupolne — Električne — Ostale vrste peći
23.07 IZRADA KOVKASTOG LIVA 745
Osnovi — Sirovine — Lijevanje i taljenje — Žarenje
23.08 IZRADA ČELIČNOG LIVA 747
Osnovi — Taljenje u Siemens-Martinovim pećima, elektro-pećima i konverterima — Kalupi za čelični liv — Žarenje
23.09 IZRADA LIVA OBOJENIH METALA 750
Peći za taljenje — Taljenje i lijevanje teških i lakih obojenih metala — Kalupljenje
23.10 SPECIJALNI POSTUPCI LIJEVANJA 752
Školjkasti — Precizni — Tlačni — Bezdani — Nodularni liv
23.11 CENTRIFUGALNI LIV 756
Osnovi — Postupci — Primjena — Svojstva centrifugalno lijevanih materijala
23.12 ČIŠĆENJE ODLJEVAKA 758
Istresanje — Grubo čišćenje — Odvajanje priljevaka — Brušenje
23.13 GREŠKE NA ODLJEVCIMA 763
23.14 POPRAVLJANJE ODLJEVAKA 764
Metalizacija — Impregnacija — Kitanje — Zavarivanje čeličnog, sivog, kovkastog liva, aluminija i njegovih slitina, bronze

Literatura

Livarski priručnik, Ljubljana 1960.
Spravočnik rabočego litejščika, Moskva 1956.
Atlas ljevačkih pogrešaka, Zagreb 1965.
Spravočnik po litejnom proizvodstvu, Moskva 1959.

23 LIJEVANJE

23.01 KALUPNI MATERIJAL

23.011 Ljevački pijesak

Sastoji se od kvarcnog pijeska, veličine zrna od 0,06 do 0,75 mm, s dodatkom vezivnog sredstva koje omogućuje oblikovanje. Štetne primjese u pijesku jesu željezni oksid, vapnenac, magnezij i ostale alkalije. Dopušteni sadržaj tih pratilaca:

$$Fe_2O_3 < 4\%,\ MgO + CaO < 2{,}0\%,\ Na_2O + K_2O < 0{,}5\%.$$

Prema namjeni ljevački pijesak dijeli se na pijesak za kalupe i na pijesak za jezgre.

Ljevački pijesak mora imati određena svojstva.

1 — **Sposobnost oblikovanja** kalupnog pijeska ovisi o sadržaju gline, koji iznosi od 6% do 30%, i o sadržaju vlage, koja iznosi 5% do 10%. Pijesak s manjim sadržajem gline (< 15%) i s manjim sadržajem vlage (5—6%) služi za izradu kalupa koji se upotrebljavaju bez prethodnog sušenja (»sirovi kalupi«), a pijesak s mnogo gline i vlage služi za izradu kalupa, koji se prije upotrebe moraju osušiti. Sušenjem takav pijesak gubi sposobnost oblikovanja te postaje krhak. Kod jezgrenog pijeska sposobnost oblikovanja ovisi o vrsti vezivnog sredstva.

2 — **Veličina zrna** uvjetovana je željenom kvalitetom površine odljevka i propustljivosti. Poželjno je da pijesak sadržava jednoličnu veličinu zrna, odnosno da prevladavaju dvije susjedne veličine zrna.

3 — **Propustljivost pijeska** za plinove ovisi o veličini i obliku zrna, količini gline, o vlažnosti i sabijenosti pijeska. Po pravilu, s porastom sadržaja gline, vlage i sabijenosti te smanjenjem zrna propustljivost pada. Za pojedine svrhe postižu se željena svojstva kombinacijom svih utjecajnih veličina.

4 — **Čvrstoća pijeska** ovisi o udjelu gline, odnosno eventualnih drugih veziva, te o količini vlage. Za kvalitetu pijeska mjerodavna je čvrstoća s obzirom na tlak i odrez.

5 — **Vatrostalnost** čistog kvarcnog pijeska je velika (kod 1 600°C je plastičan, a tali se kod 1710°C). Vatrostalnost pak ljevačkog pijeska ovisi o udjelu gline i štetnih primjesa a određuje se pokusom.

23.012 Ispitivanje i ocjena ljevačkog pijeska

Opisana svojstva ljevačkog pijeska ispituju se prema JUS. B.B8.011) pa se prema dobivenim rezultatima ocjenjuje kvaliteta prema JUS B.B5.011.

Udio ispranih materija (glina, vezivo, štetne primjese) određuje se ispiranjem uzorka te se na temelju gubitka težine utvrđuje traženi podatak. Prema udjelu ispranih materija pijesak se dijeli ovako:

čisti kvarcni	do 2%	ispranih	materija
siromašan	iznad 2% do 8%	„	„
bogat	iznad 8% do 15%	„	„
vrlo bogat	iznad 15%	„	„

Veličina zrna određuje se sijanjem kroz 11 sita s otvorom 3—1,5 — 1 — 0,6 — — 0,4 — 0,3 — 0,2 — 0,15 — 0,10 — 0,75 i 0,06 mm. Za oznaku veličine zrna upotrebljavaju se: broj finoće zrna BF, srednja veličina zrna SV i stupanj ravnomjernosti StR. Prema veličini zrna moguća je ova gruba podjela:

— jako krupno zrnat s više od 25% zrna iznad 0,6 mm
— krupno zrnat s više od 50% zrna iznad 0,2 mm
— srednje zrnat s više od 50% zrna iznad 0,1 mm
— fino zrnat s manje od 50% zrna iznad 0,1 mm

Propustljivost se određuje kao količina zraka u cm³, koja u minuti prođe kroz 1 cm³ pijeska (sloj površine 1 cm² i visine 1 cm) ako je razlika pritisaka 100 mm SV. Prema izmjerenim podacima pijesku se daje ova ocjena propustljivosti:

— vrlo mala	do 12
— malena	iznad 12 do 25
— srednja	iznad 25 do 50
— velika	iznad 50 do 75
— vrlo velika	iznad 75.

Čvrstoća s obzirom na tlak i odrez određuje se mjerenjem sile koja razara uzorak pijeska dimenzije ⌀ 50 × 50 mm koji je sabijen utroškom određene radnje sabijanja. Prema dobivenim rezultatima pijesku se daje ova ocjena čvrstoće s obzirom na tlak i čvrstoće s obzirom na odrez:

	tlak g/cm²	odrez g/cm²
slaba	do 300	do 80
dovoljna	iznad 300 do 500	iznad 80 do 120
dobra	iznad 500 do 800	iznad 120 do 220
vrlo dobra	iznad 800 do 1 200	iznad 220 do 350
odlična	iznad 1 200	iznad 350.

Vatrostalnost pijeska mjeri se temperaturom na kojoj zrna pijeska počinju srastati (sintrovati). Prema temperaturi i početku sintrovanja pijesak se ocjenjuje kao:

slab	do 1 200°C
dovoljan	iznad 1 200°C do 1 300°C
dobar	iznad 1 300°C do 1 400°C
vrlo dobar	iznad 1 400°C do 1 450°C
odličan	iznad 1 450°C

23.013 Priprema pijeska

Prema načinu pripreme pijeska razlikujemo:

— modelni pijesak — izrađen uglavnom od novih sirovina, ima najbolje osobine, prema točki 23.012, a služi za sloj kalupa ili jezgre neposredno uz model
— dopunski pijesak — izrađen regeneracijom upotrijebljenog pijeska, umjerene kvalitete, služi za dopunjavanje kalupa uz modelni pijesak
— jedinstveni pijesak — izrađen dijelom od novih sirovina, a preostalim dijelom regeneracijom upotrijebljenog pijeska, optimalne kvalitete, služi za popunu cijelog kalupa.

Operacije pripreme pijeska po pravilu su:

— za **novi pijesak:** sušenje, sijanje, miješanje uz dodatak vlage i veziva, rahljenje
— za **upotrijebljeni pijesak:** drobljenje, odvajanje metalnih nečistoća, sijanje, miješanje uz dodatak vlage i veziva, rahljenje.

Utrošak novog pijeska po toni dobrog liva (smjernice)

Tablica 1.

Materijal	Debljina stijena odljevka (mm)	Utrošak (kg/tona)
Sivi liv		
lagani	do 6	300–400
srednje teški	6–12	400–500
teški	preko 12	500–800
Kovkasti liv		
lagani	do 6	300–400
srednje teški	6–12	400–500
teški	preko 12	500–600
Čelični liv		
lagani	do 6	700–800
srednje teški	6–12	1 200
Liv lakih obojenih metala	–	200–300
Lijev teških obojenih metala	–	200

Utrošak energije za pripremu pijeska (smjernice)

Tablica 2.

Operacija	Utrošak energije kWh/t pijeska	Vrsta uredaja
Sušenje	3,5 – 4,0 (+ 17.000–19.000 kcal/t)	horizontalna rotacijska sušara
Drobljenje	1,3–1,7	drobilica s glatkim valjcima
Sijanje	0,15–0,25	rotacijsko poligonalno sito
Odvajanje metalnih čestica	0,03–0,1	rotacijski elektro-magnet
Miješanje	1,6 –2,4	mješački sistem SIMPSON
	2,8 –3,0	mješački sistem SPEEDMULLOR
Rahljenje	0,8 –1,0	dezintegrator ili aerator

Napomena. Veće vrijednosti odnose se na uredaje manjih kapaciteta.

23.014 Vezivna sredstva

Dodaju se čistom kvarcnom pijesku radi mogućnosti oblikovanja i dobivanja čvrstoće. Količina dodatka određuje se po propisu proizvođača, odnosno po iskustvu potrošača. Po vrsti vezivna sredstva mogu biti:

– **anorganska:** glina, bentonit, vodeno staklo, cement, fosfati i silikati

– **organska:** laneno ulje, dekstrin, kazein, kalofonij, fenolne smole, melasa, sulfatna lužina, ulja koja se sama skrućuju.

Od navedenih veziva za kalupni pijesak upotrebljavaju se po pravilu glina i bentonit. Sva ostala veziva služe za jezgreni pijesak.

23.015 Dodaci

Ugljena prašina kamenog ugljena dodaje se kaluparskom pijesku u količini od 4% do 8% da bi se spriječilo prigaranje pijeska na površini odljevka.

Grafit je osnovna sirovina za izradu kalupnih i jezgrenih premaza koji površinu čine gladom i sprečavanju prigaranje.

Grafit treba da sadržava bar 80% C.

Cirkon je element koji je otporniji na visoke temperature od kvarca pa se u obliku praha upotrebljava kao temelj za izradu kvalitetnih kalupnih i jezgrenih premaza.

23.02 IZRADA KALUPA

23.021 Kalupnici

Kalupnici služe za prihvat kalupnog materijala pri izradi kalupa te za prihvat sila metalostatskog pritiska pri lijevanju. Dijele se:

prema namjeni: za strojno i ručno kalupljenje

prema načinu rukovanja: za ručno i kransko rukovanje

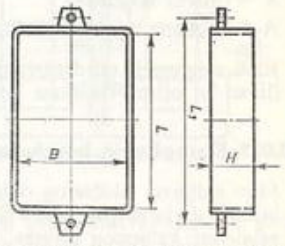
prema materijalu izrade: od sivog liva, čeličnog liva, čeličnog lima, aluminijskih legura i drugih materijala.

23.021.1 Dimenzije svijetlog otvora kalupnika za strojno kalupljenje (preporuka)

Tablica 1.

Duljina L	Širina B	Razmak otvora L_1	Visina H	Izvedba
400	300	490		
400	350	490		
450	300	540	prema	bez
450	400	540	potrebi	prečaka
500	300	590		
500	400	590		

Dimenzije prema ①.



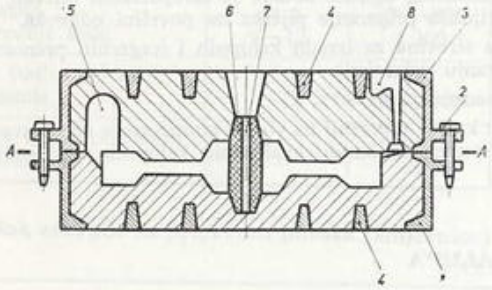
① Kalupnik za strojno kalupljenje

Za dimenzije svijetlog otvora kalupnika za ručno kalupljenje ne mogu se dati smjernice budući da se one najbolje prilagoduju asortimanu proizvodnje. Preporučuje se da se provede interna standardizacija, pri čemu se teži suženju asortimana kalupnika, uz zadovoljavajuću svestranost primjene.

Kalupnici moraju imati uške za otvore za centriranje, ručke za rukovanje ili čepove za prenošenje dizalicom. Površine kalupnika koje naliježu na modelnu ploču ili podlogu za kalupljenje moraju biti obrađene. Na stijenama kalupnika treba predvidjeti otvore za odvođenje plinova i para iz kalupa. Za bolji prihvat kalupne smjese i sila pri lijevanju u kalupnike treba staviti prečke.

23.022 Kalupljenje u kalupnicima ②

Većina odljevaka izrađuje se pomoću kalupnog pijeska kalupljenjem u kalupnicima. Diobene površine kalupnika i modela odabiru se tako da se omogući vađenje modela.



② Kalupnik opremljen za lijevanje

Sitni i srednje teški odljevci (do 100 kg) izrađuju se po pravilu u sirovim kalupima, a teški odljevci ili odljevci s posebnim zahtjevima u sušenim kalupima. Radi veće čvrstoće osjetljivi dijelovi kalupa armiraju se čavlima, žicom ili na drugi način.

1 — donji kalupnik
2 — svornjak za centriranje
3 — gornji kalupnik
4 — prečka kalupnika
5 — zatvoreno pojilo
6 — jezgra
7 — odvod plinova iz jezgre
8 — ulivni sistem
A-A diobena površina kalupnika

Radi osiguranja od djelovanja sila uzgona rastaljene slitine kalupi se opterećuju utezima ili se na njima izrađuju posebne uške za stezanje vijcima, stegama ili kopčama.

23.023 Kalupljenje bez kalupnika

Sitni odljevci pločastog oblika, tj. malene visine, mogu se izrađivati i bez kalupnika budući da je za rukovanje tim kalupnicima i prihvat sila pri lijevanju dovoljna čvrstoća sabijenog kalupnog pijeska. Prilikom sabijanja pijeska upotrebljava se rastavljivi okvir, koji se kasnije skida. Za prenošenje takvih kalupa upotrebljavaju se podloge.

Odljevci kod kojih nema posebnih zahtjeva u pogledu glatkoće površine mogu se također kalupiti bez kalupnika, tzv. otvorenim kalupljenjem. Pri tome se kalup izrađuje u podu ljevaonice, time da je gornja površina kalupa otvorena. Na toj površini skupljaju se poslije lijevanja nakupine troske, plinski mjehuri i ostale nečistoće. Podloga takvog kalupa (podložni sloj pijeska) mora biti horizontalna i dovoljno propustljiva za plinove, ali i dovoljno čvrsta da spriječi prodiranje željeza.

23.024 Izrada jezgri

Jezgre služe za oblikovanje šupljina odljevka, za složenije dijelove vanjske površine odljevka, a koji put se odljevci izrađuju isključivo u jezgrama. Pri tom se jezgrama oblikuje i unutrašnji i vanjski dio odljevka.

Jezgre se izrađuju od jezgrenog pijeska, koji se sastoji od kvarcnog pijeska, pomiješanog s jednom od vrsta jezgrenog veziva (vidi 23.014). Da bi se spriječilo prigaranje pijeska i gladih površina, jezgre se premazuju premazima na bazi grafita, cirkona ili sličnih vatrostalnih materijala.

Jezgre se izrađuju ručno, pomoću jezgrenika ili šablona, i strojno, pri čemu se jezgrenici pune, a pijesak sabija pjeskometom, tlačenjem, treskanjem, puhanjem ili strijeljanjem.

Pri izradi jezgri puhalicama i strelkama potrebna je takva izvedba jezgrenika koja omogućuje neometan izlaz zraka iz jezgrenika, uz istodobno zadržavanje pijeska.

Područje primjene pojedinih načina strojne izrade jezgri:

pjeskomet:	za krupne jezgre jednostavnijih oblika
tlačilice:	za manje jezgre jednolikog presjeka
treskalice:	za jezgre do srednjih veličina — izuzetno
puhalice i strelke	za jezgre do 20 dm³.

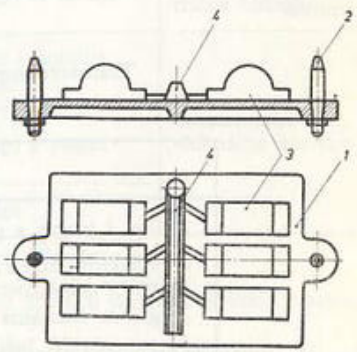
Da bi dobile potrebnu krutost, jezgre se armiraju čavlima, žicom, cijevima ili jezgrenim kosturima lijevane i zavarene izvedbe.

Odvodu plinova iz jezgre treba obratiti najveću pažnju. Pri tom valja paziti da plinovi koji se pri lijevanju razvijaju iz jezgre ne ulaze u slitinu, već da izlaze u atmosferu. Za osiguranje položaja jezgri u kalupu i za prihvat sila uzgona služe jezgreni podupirači, vezivanje jezgri žicom, vijcima i sl.

23.025 Modelne ploče

Pričvršćenjem jednog ili više modela na obrađenu metalnu ili drvenu ploču dobiva se modelna ploča ③.

1 — modelna ploča
2 — svornjaci za centriranje kalupnika
3 — modeli
4 — ulivni sistem



③ Modelna ploča za kalupljenje

Na taj način ostvaruju se ove prednosti: osiguran je položaj modela u odnosu prema kalupniku, jednoliko odvajanje kalupa od modela. Otpada potreba ručne izrade ulivnog sistema i popravljanja kalupa, moguća je primjena priučene radne snage mjesto kvalificirane, a moguć je i porast proizvodnosti.

Modelne ploče primjenjuju se po pravilu za izradu velikog broja odljevaka iako je zbog navedenih prednosti često opravdana primjena modelnih ploča i kod manjih serija.

23.026 Strojevi za kalupljenje

Primjenom modelnih ploča stvaraju se uvjeti za mehanizaciju procesa izrade kalupa. U tu svrhu primjenjuju se ovi strojevi za kalupljenje:

Pritiskalice — Kalupna smjesa sabija se pritiskom ruke preko polužnog sistema, komprimiranim zrakom ili hidraulički. Sabijenost je veća uz modelnu ploču i pri vrhu nego u sredini kalupa. Zato se pritiskalice primjenjuju za plitke kalupe.

Treskalice — Kalupna smjesa sabija se treskanjem modelne ploče kalupom o podlogu (200—300 udaraca na min), djelovanjem komprimiranog zraka. Sabijenost je najveća uz modelnu ploču, a najčešće nije dovoljna pri vrhu kalupa. Zato se na vrh kalupa često stavlja uteg za dosabijanje.

Treskalice — pritiskalice — Kalupna smjesa sabija se najprije treskanjem, a na kraju pritiskanjem radi dosabijanja gornjih slojeva kalupa. Time se postiže gotovo jednolična sabijenost kalupa po visini.

Pjeskometi — Kalupna smjesa sabija se ubacivanjem u kalup velikom brzinom, djelovanjem rotora u glavi pjeskometa. Sabijenost je jednolična po čitavom kalupu, no model je izložen znatnom trošenju (abraziji).

Izvedba strojeva — Pritiskalice, treskalice i njihova kombinacija izvode se najčešće za veličine kalupnika prema 23.021.1, ali i za znatno veće dimenzije. Pjeskometi za srednje dimenzije kalupnika izvode se kao stabilni, a za velike i najveće kao konzolni i prijevozni.

23.03 SUŠENJE KALUPA I JEZGRI

23.031 Proces sušenja

Kalupi i jezgre podvrgavaju se procesu sušenja da bi se povećala čvrstoća i propustljivost za plinove te smanjio sadržaj isplinjivih tvari iz vlage i veziva.

Režim sušenja ovisi o obliku i o veličini kalupa ili jezgre te o vrsti i udjelu upotrijebljenog veziva.

Temperature sušenja kalupa i jezgri

Tablica 1.

	Temperature °C
Kalupi i jezgre s glinenim vezivom	300—350
Jezgre s uljanim vezivom	200—225
Jezgre s dekstrinom	175—190
Jezgre sa smolama	200
Jezgre sa sulf. lužinom i melasom	200
Masne glinene smjese debelih stijena	300—400
Kalupi za čelični liv	400—600
Kalupi za teške obojene metale	350—400

Trajanje procesa sušenja jezgri

Tablica 2.

Volumen jezgre (dm^3)	Trajanje sušenja (sati)	
	Organska veziva	Anorganska veziva
Do 1	1—2	2— 3
1— 15	2—3	4— 5
15— 25	3—4	6— 7
25— 50	4—5	8— 9
50—100	5—6	10—11
Preko 100	6—7	12—14

23.032 Šušare

Podjela sušara vidi se iz tablice 3.

Podjela sušara

Tablica 3.

Način rada	Izvedba	Primjena	Vrsta goriva
Periodično djelovanje	sušara s ladicama	male i srednje jezgre	kruto, tekuće, plinovito, električna energija
	sušara s pomičnim policama	male i srednje jezgre	
	komorna sušara	kalupi u kalupnicima i jezgre svih veličina	
	prijenosna sušara	kalupi u zemlji	kruto, tekuće, električna energija
Kontinuirano djelovanje	vertikalna konvejerska sušara	male i srednje jezgre	tekuće, plinovito, električna energija
	horizontalna konvejerska sušara	kalupi i jezgre	
	tunelska sušara	kalupi	

Utrošak topline iznosi, ovisno o konstrukciji i izvedbi sušare:

- kod sušara s ladicama i pomičnim policama od 250 000 do 270 000 kcal/t osušenih jezgri
- kod komornih sušara od 40 000 do 120 000 kcal/m^3 volumena komore, pri 5%, odnosno 25% volumena ispunjenog kalupima ili jezgrama
- kod sušara kontinuiranog djelovanja od 160 000 do 300 000 kcal/t osušenih jezgri, ovisno o izvedbi i veličini peći.

Po pravilu, veće sušare imaju manji utrošak topline po jedinici osušenog materijala.

23.033 Pojave pri sušenju

Proces obuhvaća tri faze: zagrijavanje, sušenje i hlađenje. Brzina zagrijavanja treba da je što manja da bi se izbjegle pukotine i deformacije. Sušenje se provodi pri temperaturi koju uvjetuje vrsta i količina veziva u pijesku (vidi tablicu 23.031 – 2). Na trajanje sušenja povoljno utječu prisilna cirkulacija u sušari (brzina strujanja 2 – 2,5 m/s) i raspored kalupa ili jezgri s dovoljno međuprostora. Raspored temperature u sušarama treba da je jednoličan. Prekoračenje dopuštene temperature sušenja smanjuje vezivna svojstva veziva.

23.04 IZRADA MODELA

23.041 Materijali za izradu modela i jezgrenika

Drvo se najčešće upotrebljava jer se može lako obraditi i male je težine. Mora biti suho, najviše 10 – 12% vlage.

Meko drvo: smreka, bor, jela, topola, joha, breza, lipa.

Tvrdo drvo: javor, orah, brijest, kruška, trešnja, jasen, klen, hrast, bukva, grab.

Trajnost drvenih modela: pri ručnom kalupljenju oko 100 otisaka, pri strojnom kalupljenju oko 1 000 otisaka.

Primjenjuje se za maloserijsku proizvodnju, bez ograničenja s obzirom na veličinu modela.

Slitine aluminija za manje modele (maksimalne dimenzije oko 500 mm), u serijskoj i masovnoj proizvodnji. Trajnost pri strojnom kalupljenju 25 000 – 50 000 otisaka.

Slitine bakra služe za složene modele u masovnoj proizvodnji. Nedostatak im je velika težina i visoka cijena. Trajnost im je veća od aluminijskih modela.

Umjetne smole, najčešće epoksi-smole, omogućuju jednostavnu izradu modela, postojanost oblika i veliku čvrstoću; otporne su protiv habanja i imaju malu težinu. Trajnost im je jednaka metalnim modelima, bez ograničenja s obzirom na veličinu i oblik modela.

Voskovi, i to prirodni i umjetni, upotrebljavaju se za modele jednokratne upotrebe (vidi 23.10, Precizni liv).

Polistirol služi za dijelove modela ili čitave modele jednokratne upotrebe pri tzv. lijevanju u pune kalupe.

23.042 Skupljanje i negativni dodaci

Da bi se kompenziralo skupljanje liva pri skrućivanju, potrebno je dimenzije modela proporcionalno povećati.

Opširnije o tome vidi: JUS K.H5.050.

Prilikom naručivanja izrade modela treba propisati postotak skupljanja liva. U protivnom slučaju mjerodavan je citirani JUS-standard.

Pri ručnoj izradi kalupa uobičajeno je rasklapanje modela radi lakšeg vađenja iz kalupa. Da bi se kompenzirao utjecaj tako izazvane promjene dimenzije, dodaci za skupljanje umanjuju se prema podacima JUS K.H5.050.

Linearno skupljanje liva (smjernice)

Tablica 1.

Vrsta metala	Prosječno linearno skupljanje (u postotku)
Sivi liv	1
Kovkasti liv	0 – 2,5
Čelični liv	2
Slitine aluminija i magnezija	1,25
Mjed	1,5
Kositar	1,5
Cink	1,5
Olovo	1

23.043 Dodaci za obradu

Za površine odljevka koje se mehanički obrađuju treba na modelu predvidjeti dodatke za obradu. Treba nastojati da dodaci budu što manji, uz održavanje kvalitete površine. JUS K.H5.050 propisuje maksimalne vrijednosti dodataka za obradu. Pri naručivanju modela treba propisati dodatke za obradu. U protivnom slučaju vrijedi JUS-standard.

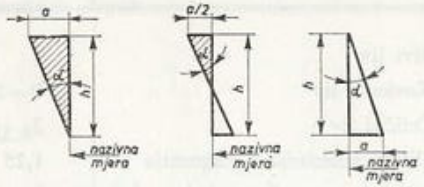
Dodaci za obradu (smjernice)

Tablica 2.

Materijal	Dodatak u mm		
	pri brušenju i provlačenju	pri tokarenju, glodanju, blanjanju	
		odljevci do 800 mm	odljevci preko 800 mm
Sivi liv	0,3 – 1	2 – 5	6 – 20
Kovkasti liv	0,3 – 1	2 – 3	–
Čelični liv	–	3 – 8	8 – 30
Liv obojenih metala	0,3	2 – 3	4 – 10

23.044 Zakošenje

Da bi se vertikalne plohe modela lakše odvajale od kalupnih smjesa, te se plohe izvode sa zakošenjem. Način izvedbe zakošenja vidi se iz ①, ② i ③.



① ② ③

①, ② i ③ Izvedbe zakošenja u ovisnosti o debljini stijene

Izvedba na ① primjenjuje se za debljine stijena do 6 mm, izvedba na ② za stijene od 6 do 15 mm, izvedba na ③ za stijene iznad 15 mm debljine.

Dimenzije zakošenja (prema JUS K.H5.050)

Tablica 3.

Visina zakošenja mm	Strojno kalupljenje		Ručno kalupljenje	
	projekcija a mm	kut α	projekcija a mm	kut α
do 20	1	3°	1	3°
iznad 20— 50	1	1°15′	1,5	1°30′
„ 50— 100	1,2	0°45′	2	1°15′
„ 100— 200	2	0°30′	2,5	0°45′
„ 200— 300	2,5	0°30′	3,0	0°30′
„ 300— 500	3,0	0°30′	4,0	0°30′
„ 500— 800			5,0	0°30′
„ 800—1 000			6,0	0°30′
„ 1 000—1 200			7,0	0°30′
„ 1 200			po sporazumu	

23.045 Bojenje modela

Modeli, jezgrenici i ostale modelne naprave boje se da bi se označila njihova namjena te da bi se povećala glatkoća površine i ova zaštitila od utjecaja vlage i kalupnih smjesa. Ton boje propisan je, a vrsta ovisi o agresivnosti kalupne ili jezgrene smjese.

Propisane tonove boje vidi u tablici 4.

Boja se po pravilu nanosi u tri sloja. Za prvi sloj služi razrijeđena boja, a za drugi i treći boja normalne gustoće.

Bojenje modela (Prema JUS K.H5.050)

Tablica 4.

Površine modelne naprave		Sivi i tvrdi liv	Kovkasti liv	Čelični liv	Liv lakih metala	Liv teških metala
Površine koje se na odljevku	ne obrađuju	crveno	sivo	plavo	zeleno	žuto
	obrađuju	preko osnovne boje žute pruge				crvene pruge
Površine u cijelosti obrađenog odljevka		preko osnovne boje žute točke				crvene točke
Osloncl i prodori jezgara zaobljenja koja izvodi kalupar		crno				
Ležišta slobodnih dijelova i vijaka za pričvršćenje		crno oivičeno				
Razdjelna površina modela i jezgrenika i površine modela na modelnoj ploči		bezbojan lak				
Priljevci		crne pruge preko osnovne boje				
Lažna rebra za ukrućivanje		crne pruge preko bezbojnog laka				
Mjesta i oslonci za hladilice		plavo	crveno	crveno	plavo	plavo
Šablone za šestarenje	radna ivica	crveno	sivo	plavo	zeleno	žuto
	tijelo	bezbojni lak				

23.045 Tolerancije za tačnost modela

Dimenzije modela za koje u crtežu ne postoji posebna tolerancija smiju od naznačenih mjera odstupiti maksimalno za vrijednosti prema tablici 5.

Tolerancije dimenzija modela, mm (prema JUS K.H5.050)

Tablica 5.

Nazivna mjera mm	Modeli		
	drveni		metalni
	klasa 1 i 2	klasa 3 i 4	klasa 1 i 2
do 6	0,15	0,25	0,06
iznad 6 — 18	0,20	0,35	0,09
„ 18 — 50	0,3	0,5	0,13
„ 50 — 180	0,45	0,75	0,20
„ 180 — 315	0,6	1	0,25
„ 315 — 500	0,75	1,3	0,30
„ 500 — 800	0,9	1,5	0,40
„ 800 — 1 250	1,1	1,9	0,50
„ 1 250 — 2 000	1,4	2,3	0,60
„ 2 000 — 3 150	2,5	3,5	0,80
„ 3 150 — 5 000	4	6	1,5
„ 5 000 — 8 000	6,5	9,5	2,5
„ 8 000 — 10 000	9	12	3,5

Definicije klase kvalitete modela vidi kod JUS K.H5.050.

23.05 SASTAVLJANJE ZASIPA ZA SIVI LIV

23.051 Sirovo željezo

Sirovo željezo dijeli se ovako:

sivo željezo — sa sivom strukturom preloma, jakim izlučinama grafita, velikim sadržajem silicija i malim sadržajem mangana

bijelo — s bijelom strukturom prijeloma, bez izlučina grafita, s velikim sadržajem silicija i mangana ili s malim sadržajem silicija, a velikim sadržajem mangana te sa sadržajem sumpora iznad 0,18%.

Prijedlog jugoslavenskog standarda predvida slijedeće vrste sivog sirovog željeza:

Sivo sirovo željezo (vrijednosti u %) Tablica 1.

Vrsta	C	Si	Mn	P	S
Obično sivo sirovo željezo	3,2 — 3,5	1,0 — 4,0	0,81 — 1,4	0,12 — 0,35	0,04 — 0,08
Hematitno sivo sirovo željezo	3,2 — 3,5	1,0 — 4,0	0,81 — 1,4	0,12	0,04 — 0,06
Fosforno sivo sirovo željezo	3,2	1,0 — 4,0	0,81 — 1,4	0,36 — 1,2	0,04 — 0,08

U svakoj vrsti postoji 5 klasa, stupnjevanih po sadržaju silicija, te dvije ili tri skupine stupnjevane po sadržaju sumpora.

23.052 Specijalno sirovo željezo i ferolegure

Prema prijedlogu JUS-a postoji šest klasa specijalnog sivog sirovog željeza ovog sastava:

Si = 1,0 — 4,0%, Mn = 0,3 — 0,8%, P < 0,35%, S = 0,03 — 0,07%.

Pri tome se klase razlikuju po sadržaju silicija.

Najčešće se upotrebljavaju ove feroslitine:

ferosilicij	sa 10 — 90% Si	
silikokalcij	sa 60 — 65% Si	i 30 — 35% Ca
feromangan	sa 40 — 80% Mn	
silikomangan	sa 65 — 75% Mn	i 15 — 25% Si
ferokrom	sa 60 — 70% Cr.	

23.053 Lomljevina sivog liva i čelični otpaci

Lomljevinu sivog liva čine komadi nelegiranog sivog liva raznih vrsta, maksimalne veličine 250 × 200 × 100 mm, bez onečišćenja s obojenim metalima i čelikom te s najviše 2% nemetalnih primjesa.

Povratni liv (škart, ulivni sistemi i sl.) vlastite ljevaonice spada također u ovu vrstu.

Lomljevinu sivog liva treba odvajati po vrstama, tj. po sastavu.

Čelični otpaci potječu od nelegiranih čelika sa C ≤ 0,6%, Si ≤ 0,6%, Mn ≤ 0,6%, P ≤ ≤ 0,05%, S ≤ 0,05% i sumom ostalih legiranih elemenata ispod 0,3%, maksimalne veličine 250 × 200, debljine veće od 8 mm bez onečišćenja ostalim metalima i nemetalima.

23.054 Stupanj zasićenosti

Utjecaj pojedinih elemenata na svojstva sivog liva

Elementi koji su redovito u sastavu sivog liva:

C, Si, Mn, P i S

Ugljik se javlja kao grafit, žarni ugljik i željezni karbid. Kod sivog sirovog željeza 90% sadržaja ugljika javlja se kao grafit, kod sivog liva taj udio iznosi 80% i manje.

Silicij utječe na izlučivanje grafita. Ako je sadržaj silicija malen, smanjuje se izlučivanje grafita te liv postaje tvrdi. Kod tankostijenog liva potreban je veći sadržaj Si (do 3%).

Mangan iznad sadržaja od 0,3% u sivom livu otežava grafitizaciju, čini liv tvrđim povećava čvrstoću i sprečava štetan utjecaj sumpora.

Fosfor povećava livljivost, smanjuje čvrstoću pa treba da je kod mehanički napregnutih odljevaka ispod 0,4%. Kod tankostijenog liva, gdje se radi bolje livljivosti ide do P = = 1,25%, sprečava se krhkost većim sadržajem silicija (Si = 3%).

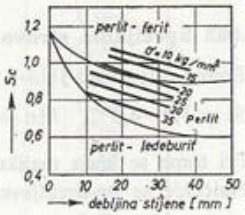
Sumpor povećava tvrdoću, krhkost i skupljanje; smanjuje livljivost. Zato sadržaj sumpora ne smije biti veći od 0,08 do 0,12%.
U protivnom slučaju treba odsumporavati slitinu.

Stupanj zasićenosti

Radi mogućnosti uspoređivanja sivog liva različitih kemijskih sastava proračunava se tzv. stupanj zasićenosti ugljikom prema formuli:

$$S_c = \frac{C}{4{,}23 - 0{,}312\,Si - 0{,}33\,P + 0{,}18\,(Mn - 1{,}76\,S)}$$

Sivi liv s istim S_c ima približno iste mehaničke osobine. Što je manji S_c, liv je tvrdi i čvršći, i obrnuto.
Utjecaj stupnja zasićenosti i debljine stijene odljevka na vlačnu čvrstoću proizlazi iz dijagrama na ① (prema K. Sippu):



① Dijagram vlačne čvrstoće odljevka

23.055 Izgor i dogor u kupolnoj peći. Sredstva za odsumporivanje

Pri taljenju u kupolnoj peći treba računati da se sadržaj silicija zbog izgora smanjuje za 8 do 10%, pri ukupnom sadržaju od 1,5 do 2,5%. Sadržaj mangana smanjuje se za 12 do 15% pri ukupnom sadržaju mangana od 0,5 do 1%.

Sadržaj fosfora se pri taljenju u kupolnoj peći ne mijenja. Sadržaj sumpora povećava se za 50 do 60%. Pri taljenju čeličnih otpadaka u kupolnoj peći sadržaj ugljika u njima povećava se zbog naugljičenja iz koksa otprilike na 2,5%.

Da bi se smanjio sadržaj sumpora, daje se u zasip veći sadržaj mangana, soda, karbit ili specijalna sredstva za odsumporivanje. Dodatkom 0,3—0,5% sredstava za odsumporivanje ili sode može se sadržaj sumpora smanjiti za 75%, tj. na 0,05 do 0,07%.

23.056 Primjer proračuna zasipa

Željeni sastav sivog liva:

$$C = 3{,}1\%,\ Si = 1{,}0\%,\ Mn = 0{,}8\%,\ P = 0{,}2\%,\ S = 0{,}1\%.$$

Zasip se sastavlja od:

1 — hematitnog sirovog željeza (vidi tablicu 23.051-1)
2 — čeličnih otpadaka (sastav: Si = 0,3; Mn = 1,0; P = 0,1; S = 0,07) te
3 — vlastite lomljevine (sastav: C = 3,1; Si = 1,0; Mn = 1,0; P = 0,25; S = 0,10).

Proračun zasipa Tablica 2.

Zasipni materijal	Količina (kg)	Sastav %					Količina (kg)				
		C	Si	Mn	P	S	C	Si	Mn	P	S
Hematitno sirovo željezo	40	3,5	1,8	0,9	0,15	0,05	1,40	0,72	0,36	0,06	0,02
Lomljevina sivog liva	30	3,1	1,0	1,0	0,25	0,10	0,93	0,30	0,30	0,08	0,03
Čelični otpaci	30	2,5	0,3	1,0	1,0	0,07	0,75	0,09	0,30	0,03	0,02
	100						3,08	1,11	0,96	0,17	0,07
Izgor: silicij 8—10%, mangan 12—15%								−0,11	−0,14		
Dogor: sumpor 50%											+ 0,04
Sastav slitine na otvoru peći							3,08	1,00	0,82	0,17	0,11

Usporedbom proračunatog sastava slitine sa željenim sastavom vidi se da proračun zasipa zadovoljava.

Proizvedena slitina imala bi stupanj zasićenosti:

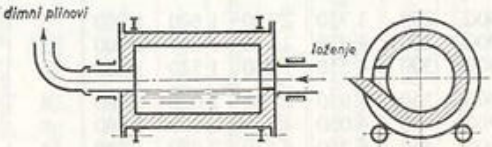
$$S_c = \frac{3{,}08}{4{,}23 - 0{,}312 \cdot 1{,}0 - 0{,}33 \cdot 0{,}17 + 0{,}18\,(0{,}82 - 1{,}76 \cdot 0{,}11)} = 0{,}82$$

Uz debljinu stijene od 50 mm liv navedenog sastava imao bi prema dijagramu 23.54-1 perlitnu strukturu i čvrstoću na vlak $\sigma = 27{,}5$ kg/mm², pa bi prema JUS C.J2.020 spadao u vrstu SL 26.

23.06 PEĆI ZA TALJENJE SIVOG LIVA

23.061 Plamene peći ①

Plamene peći izvode se najčešće u nagibnoj bubnjastoj izvedbi, s loženjem pomoću plinova ili naftom. Dimni plinovi ispuštaju se u atmosferu ili se vode kroz rekuperator za pregrijavanje zraka za izgaranje plina ili tekućeg goriva. Na taj način moguće je veliko pregrijavanje slitine.



① Plamena peć

Karakteristike plamenih peći

Tablica 1.

Izvadak slitine u odnosu prema ubačenim sirovinama	~95 %
Količina metalnog uloška	10–50 t
Trajanje taljenja	7–20 h
Utrošak topline prosječno	1,500.000 kcal/t
Količina šljake	4–6,5%

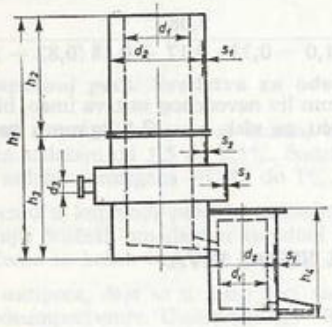
Plamena peć metalurški je povoljnija od kupolne peći, osobito ako radi s rekuperatorom, jer postoji mogućnost stalne kontrole sastava slitine, bolje su mogućnosti odsumporavanja, postoji mogućnost rada s vrlo niskim sadržajem ugljika.

Termički stupanj djelovanja lošiji je nego kod kupolnih peći. Zato je napose prikladna za rad u tzv. »duplex«-postupku s prethodnim taljenjem slitine u kupolnoj peći, a sa završnom obradom slitine u plamenoj peći.

23.062 Kupolne peći ②

Kupolne peći najčešće se upotrebljavaju zbog povoljnog termičkog stupnja djelovanja i jednostavne izvedbe.

Kupolne peći izvode se bez pretpeći i s njom. Peć bez pretpeći daje po pravilu topliju slitinu, a s njome slitinu jednoličnijeg sastava.



② Kupolna peć

Glavne dimenzije kupolnih peći (mm) Tablica 2.

d_1	d_2	d_3	h_1	h_2	h_3	h_4	S_1	S_2	S_3
500	900	200	3 750	2 150	1 600	1 200	5	6	4
600	1 000	250	4 250	2 650	1 600	1 400	5	6	4
800	1 300	300	4 550	3 030	1 520	1 600	6	8	4
1 000	1 600	350	5 050	3 030	2 020	1 700	8	10	5
1 200	1 900	400	6 050	4 030	2 020	1 800	8	10	5
1 400	2 100	450	6 550	4 530	2 020	1 800	8	10	5

Tehnički podaci kupolnih peći

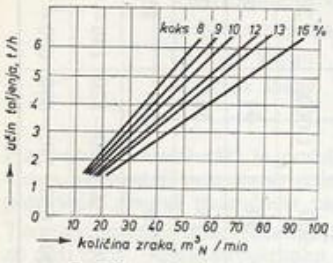
Tablica 3.

Svijetli promjer peći mm	500	600	700	800	900	1 000	1 200	1 400
Površina presjeka m^2	0,196	0,283	0,385	0,503	0,636	0,785	1,131	1,534
Visina sapnica iznad dna, s pretpeći mm	250	300	350	400	450	500	600	700
bez pretpeći mm	500	600	700	800	900	1 000	1 200	1 400
Ukupan presjek sapnica, za sivi liv cm^2	327	472	642	840	1 060	1 310	1 890	2 560
za kovkasti liv cm^2	–	–	770	1 000	1 270	1 570	–	–
Učin taljenja sivi liv t/h	1,3	2	3	4	5	6	8,5	12,5
Kovkasti liv t/h	–	–	3,3	4,5	5,5	7	–	–
Visina temeljnog koksa iznad sapnica mm	500	600	700	800	900	1 000	1 200	1 400
Težina koksa za 1 zasip kg	16	24	32	40	50	64	91	123
Težina vapnenca za 1 zasip kg	5	7	10	12	15	20	28	37
Težina metalnog zasipa kg	175	250	350	450	550	650	850	1 100
Količina zraka Nm^3/min	25–32	30–40	45–60	60–80	80–100	100–120	140–170	200–250
Pritisak zraka mm SV	400–500	450–550	500–600	500–600	550–650	580–680	600–700	650–750

Tehnički podaci kupolnih peći navedeni su u tablici 23.062—3.

Ovisnost učina taljenja o količini koksa u zasipu i o količini zraka proizlazi iz dijagrama na ③.

Iz tog dijagrama vidi se da mali udio koksa u zasipu, pri istoj količini zraka, daje veći učin taljenja. Temperatura slitine je, medutim, niža. Povećanjem količine zraka uz isti udio koksa povećava se učin taljenja, a temperatura slitine raste.



③ Dijagram učina taljenja

Ograničenje za povećanje količine zraka je pojava slobodnog kisika u dimnim plinovima.

Vapnenac koji se dodaje zasipu služi za prevođenje pepela koksa i ostalih nemetalnih uključina iz zasipa u taljivu trosku. On, nadalje, sprečava prevelik prijelaz sumpora iz koksa u slitinu. Količina vapnenca iznosi 16—48% težine koksa, u prosjeku 30% (vidi tablicu 23.062—3). Veće vrijednosti upotrebljavaju se kod kupolnih peći s vrućim zrakom. Gubici željeza prilikom taljenja u kupolnoj peći iznose zbog kemijskog vezivanja željeza na šljaku otprilike 0,8—1,7% te zbog izgaranja željeza 3—8%.

Da bi se povećala termička iskoristivost, tj. smanjio utrošak koksa te postigle više temperature slitine, upotrebljavaju se i kupolke s predgrijanim, vrućim zrakom. Pri tome se u različito konstruiranim rekuperatorima primjenjuje osjetna toplina izlaznih plinova kupolne peći, za zagrijavanje zraka od 300 do 600°C. Na taj način postiže se porast termičkog stupnja djelovanja sa 30% kod peći s hladnim zrakom na maksimalno 46% kod peći s vrućim zrakom.

23.063 Električne peći

Električne peći upotrebljavaju se za taljenje vrednijih vrsta sivog liva i u tzv. duplex--postupku, s prethodnim taljenjem slitine u kupolnoj peći i završnom obradom u električnoj peći.

Elektro-lučne peći

Utrošak energije za različite postupke taljenja u električnoj peći naveden je u tablici 4.

Utrošak energije električnih peći (kWh/t)

Tablica 4.

Pregrijavanje sivog liva	150— 250
Duplex-postupak	450— 650
Taljenje hladnog uloška (sirovo željezo i lomljevina)	650— 850
Pretaljivanje čeličnog otpada i strugotine	800—1 200

Električne peći grade se sa sadržajem od 1 do 15 tona. Vrijeme taljenja u tim pećima iznosi 2—3 sata.

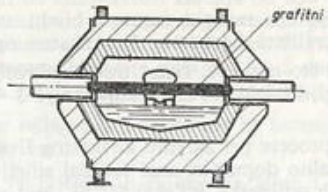
Indukcijske peći

Za taljenje sivog liva upotrebljavaju se ove peći sa željeznom jezgrom i bez nje, visoke i niske frekvencije. Zbog ekonomičnosti prevladava **indukcijska tiganjska peć mrežne frekvencije.**

Utrošak energije iznosi kod te peći prosječno 500 kWh/t, za taljenje hladnog uloška te kojih 50 kWh/t pri pregrijavanju za svakih 100°C.

Kod te peći postoji također mogućnost da se primijeni vrlo visok postotak učešća strugotine sivog liva u zasipu (do maksimalno 100%), čime se i zbog sniženja troškova zasipa povećava ekonomičnost.

Inducijske tiganjske peći mrežne frekvencije grade se za sadržaj slitine od 1 do 6 tona.



④ Nagibna peć s grafitnim štapom

Peć s grafitnim štapom ④

Ta vrsta peći razvijena je u novije vrijeme. Po izvedbi to je bubnjasta, nagibna peć, koja u uzdužnoj osi ima grafitni otpornik koji zagrijava kupelj.

Utrošak energije iznosi kod tih peći prosječno kojih 850 kWh/t, što ovisi o učestalosti primjene peći. Pri kontinuiranom radu utrošak pada. Te peći grade se za sadržaj slitine od 50 do 1 500 kg.

23.064 Ostale vrste peći

Osim navedenih vrsta postoje i druge vrste peći za taljenje sivog liva, na primjer bubnjaste rotacijske peći ložene ugljenom prašinom (sistem »BRACKELSBERG«), uljem ili plinom (sistem »FULMINA«) i sl. Takve peći uvode se zbog veće toplinske ekonomije i stanovitih metalurških prednosti.

23.07 IZRADA KOVKASTOG LIVA (TEMPER-LIV)

23.071 Osnovi

Kovkasti liv, za razliku od sivog liva, ima takav sastav da neposredno nakon skrućivanja ima bijeli prijelom, dakle ledeburitnu strukturu. Nakon lijevanja nadovezuje se postupak žarenja, koji odljevku daje žilavost i istežljivost. Karakteristike tog liva vidi kod JUS C.J2.021.

Postupci žarenja:

1 — **Žarenje u redukcijskoj atmosferi** — pri kome se odljevci oblažu sredstvom koje sadržava kisik (željezna ruda, željezni oksid). Raspadom cementita Fe_3C na željezo i ugljik te vezanjem ugljika s kisikom iz redukcijske atmosfere cementit prelazi u ferit. Kod tankostijenih odljevaka opisana difuzija je potpuna pa je konačna struktura ferit, a što su stijene odljevka deblje, difuzija je jače otežana pa u strukturi zaostaje perlit, žarni ugljik i nerastvoreni ledeburit.

Tim postupkom žarenja dobiva se **bijeli kovkasti liv** (oznaka BTel, prema JUS C.J2.021)

2 — **Žarenje u neutralnoj atmosferi** — pri kome se odljevci oblažu neutralnim sredstvima (npr. pijeskom). Raspadom cementita na željezo i na ugljik dolazi do nakupljanja ugljika u obliku čvorova (žarni ugljik), a željezna matica na taj način ostaje feritična.

Tim postupkom žarenja dobiva se **crni** ili **američki kovkasti liv** (oznaka CTel, prema JUS C.J2.021).

Prijelazni oblik je tzv. bijelo uokvireni kovkasti liv, koji nastaje kad je redukcijska atmosfera zasićena ili neutralno sredstvo dopušta pristup zraka do odljevaka.

23.072 Sirovine za kovkasti liv

Sirovine koje se upotrebljavaju moraju izazvati bijelu strukturu prijeloma odljevka jer u protivnom slučaju kvaliteta kovkastog liva znatno opada.

Sadržaj ugljika treba da je što niži, pri čemu treba zadovoljiti livljivost, zbog tankostijenih odljevaka. Sadržaj ugljika kod BTel iz kupolke je 3—3,5%, iz plamene peći 2—2,2%.

Sadržaj silicija pospješuje procese pri žarenju kovkastog liva, ali izaziva i sivu strukturu prijeloma. Zato je maksimalno dopušten onaj sadržaj silicija koji još ne sprečava bijeli prijelom: kod debelostijenih odljevaka BTel 0,5% Si, kod tankostijenih 1%. Kod CTel uzima se 0,9 do 1,0% Si. Mangan u visokom postotku sprečava procese pri žarenju, zato treba da je maksimalno 0,18 do 0,4%. Fosfor treba da je manji od 0,2%, što znači da se dobra livljivost mora postići većim pregrijavanjem slitine. Sumpor treba da je ispod 0,3%, za normalan kovkasti liv, odnosno ispod 0,1%, za kvalitetne vrste tog liva.

23.073 Taljenje i lijevanje kovkastog liva

Za taljenje kovkastog liva najčešće se upotrebljava kupolna peć, a rjeđe tiganjska i plamena, iako se najbolja svojstva postižu pri taljenju u tiganjskoj peći. Pri taljenju u kupolci češća su odstupanja u sastavu liva i njegovim mehaničkim svojstvima.

Zasip se sastavlja od sirovog željeza prikladnog sastava (bijelo i sivo sirovo), lomljevine čelika i lomljevine kovkastog liva. Proračun zasipa za udio pojedinih elemenata izrađuje se prema 23.072.

Pri taljenju u tiganjskoj peći zasip je sastavljen ovako: 15—30% čini bijelo sirovo željezo, 23—28% sivo sirovo željezo, 12—17% lomljevina čelika, 35—40% lomljevina kovkastog liva.

Utrošak koksa: 35—50% s donjom promajom
60—75% bez donje promaje.

Pri taljenju u kupolnoj peći zasip je sastavljen ovako: 10—20% čini bijelo sirovo željezo, 20—27% sivo sirovo željezo, 15—25% lomljevina čelika, 38—45% lomljevina kovkastog liva.

Utrošak koksa: 15—25%, radi sprečavanja oksidacije. Pri taljenju u plamenoj peći sastav zasipa sličan je onome za kupolnu peć. Da bi se spriječila oksidacija ugljika, radi se s nešto većim sadržajem silicija. Utrošak koksa kod plamene peći iznosi 30—40% izgor C, Si i Mn iznosi 20—25%. Za kvalitetan kovkasti liv upotrebljava se »duplex«-postupak s kupolkom i elektro-peći.

Izrada kalupa i lijevanje, isto kao sivi liv (vidi 23.02 i 23.03). Zbog više temperature lijevanja treba veću pažnju obratiti vatrostalnosti kalupnih i jezgrenih materijala i premaza (vidi 23.01).

23.074 Žarenje kovkastog liva

Žarenje BTel obavlja se tako da se odljevci odlažu u posude za žarenje i oblažu redukcijskim sredstvima pa se pojedinačno ili u hrpama slažu u peć za žarenje.

Redukcijsko sredstvo je željezna ruda (hematitna, mješavina nove i rabljene, u omjeru 1 : 4) ili okujina.

Kod modernih peći nije potrebno oblaganje redukcijskim sredstvima budući da se u peći održava kontrolirana redukcijska plinska atmosfera.

Posude za žarenje, promjera do 750 mm, visine do 1 000 mm, izrađuju se od kovkastog liva; trajnost im je 8—12 žarenja. Posude od čeličnog liva izdrže 20—25 žarenja, a posude od vatrostalnog materijala legiranog kromom više od 200 žarenja.

Režim žarenja traje otprilike 8 dana, od početka ulaganja do vađenja odljevaka. Zagrijavanje traje 24—36 sati na temperaturi žarenja od 850° do 1 000°C. Žarenje na temperaturi ispod 850°C ne osigurava potpunu provedbu postupka, a temperatura iznad 1 000°C dovodi do sintrovanja odljevaka s oblogom. Slijedi zadržavanje na temperaturi 3 do 5 dana, a zatim polagano hlađenje peći u toku 2 dana. Prebrzo hlađenje ili istresanje prevrućih odljevaka izaziva greške na odljevcima.

Žarenje CTel provodi se odlaganjem u posude za žarenje i oblaganjem neutralnim ili blago redukcionim sredstvom.

Sredstvo za oblaganje je pijesak ili mješavina stare i nove hematitne rude u omjeru 6 : 1 do 7 : 1. Ako se upotrijebi takva mješavina dobiva se »bijelo uokvireni« kovkasti liv, što je često poželjno.

Režim žarenja: zagrijavanje na 870—900°C, jednoliko u toku 36 sati, održavanje na temperaturi otprilike 70 sati, hlađenje u toku 36 sati na 600°, zatim vađenje posuda i hlađenje na zraku.

Peći za žarenje su komorne ili tunelske, ložene krutim gorivima, plinom, naftom, ili ih grije električna energija. Kod novijih peći s kontroliranom atmosferom, trajanje postupka i utrošak topline manji su. Podaci za neke vrste peći navedeni su u tablici 1.

Peći za žarenje kovkastog liva Tablica 1.

Vrsta peći	Uložak t	Utrošak ugljena kg/t	Utrošak topline 10^3 kcal/t
Komorna peć	3—5	1 200—1 600	8 400—11 200
Komorna peć s CTeL	15	500— 800	3 500— 5 600
Komorna peć s BTeL	—	1 000—2 000	7 000—14 000
Tunelska peć	—	200— 400	1 400— 2 800
Tunelska peć CTeL	6—8t/24h	250	1 750
Tunelska peć BTeL	6—8t/24h	350	2 450

Oplemenjivanje bijelog i crnog kovkastog liva provodi se prekidanjem postupka žarenja na 850°C i naglim hlađenjem na zraku, u ulju ili u vodi. Isti efekt postiže se ponovnim zagrijavanjem već žarenih odljevaka na 850°C i zatim naglim hlađenjem. Nakon toga slijedi napuštanje kod 650°C. Tim postupkom postiže se povećanje čvrstoće na vlak za otprilike 50% (σ = 50—60 kg/mm²) i smanjenje istezanja za δ = 3—6%.

23.08 IZRADA ČELIČNOG LIVA

23.081 Osnovi

Čelični liv dobiva se taljenjem u tiganjskim pećima, Siemens-Martinovim (SM) pećima, elektro-pećima ili konverterima. Pri taljenju u SM-pećima i elektro-pećima sastav zasipa mora osigurati otprilike za 0,3—0,5% veći sadržaj ugljika od željenog konačnog

sadržaja. Time se omogućuje dugotrajno i snažno kuhanje slitine radi istjerivanja plinova. Jednostavno taljenje bez kuhanja najčešće izaziva manjkave odljevke. Legirni dodaci, koji se naknadno dodaju, moraju se, da bi se uklonili plinovi, lagano zagrijati do crvenog žara. Vapnenac koji se upotrebljava treba da je suh. Prije lijevanja čelik se umiruje silicijem ili aluminijem.

Skupljanje čeličnog liva iznosi u prosjeku 2%. (Vidi JUS K.H5.050.)

Vrste čeličnog liva vidi: JUS C.J3.011.

23.082 Taljenje u Siemens-Martinovim pećima

Siemens-Martinova (SM) peć je plamena peć, koja se u ljevaonicama čeličnog liva najčešće loži plinom kamenog ili smeđeg ugljena. Opremljena je regeneratorom ili rekuperatorom za zagrijavanje plina i zraka. Prema vrsti vatrostalne obloge peći postoji **bazična** i **kisela** SM-peć. Kod bazične peći prostor za talinu obložen je magnezitnom oblogom, a kod kisele peći silikatnom oblogom. Kisela peć služi za taljenje uloška bez fosfora i sumpora jer se ti elementi ne mogu ukloniti u kiseloj peći. Zato uložak mora biti pažljivo odabran. Kod bazične peći moguće je za vrijeme taljenja ukloniti neželjene pratioce u sastavu pa zasip može biti od manje vrijednih sirovina.

Zasip SM-peći sastoji se od sirova željeza, lomljevine čelika, lomljevine čeličnog liva, taljiva i legirajućih dodataka. Količina sirova željeza u zasipu kisele SM-peći iznosi 10 —20%, kod bazične 20—30%. Ta količina ovisi o veličini traženog postotka ugljika u čeličnom livu i o vrsti lomljevine čelika. Tankostijena i rđava lomljevina čelika zahtijeva veći udio sirova željeza u zasipu. Kod kisele SM-peći upotrebljava se sirovo željezo s mnogo Si i malo Mn, a u bazičnoj željezo s malo Si i mnogo Mn. Kao taljivo za osnov šljake služi u kiseloj peći kremeni pijesak, a u bazičnoj vapnenac.

Proces taljenja odvija se u tri faze:

- taljenje, pri čemu izgara dio C, Mn i Si, dajući okside u šljaki;
- oksidacija, pri čemu oksidira C, Mn, Si i P; kisik za oksidaciju dobiva se iz zraka za izgaranje ili dodanih željeznih oksida. Pri tome nastaje »kuhanje« taline, koje istjeruje plinove;
- dezoksidacija, pri čemu se talini traženog sastava i temperature dodaju FeSi, FeMn, Al itd. da bi se uklonio oksid.

Utrošak goriva za taljenje u SM peći

Tablica 1.

Težina zasipa t	Trajanje taljenja h	Utrošak kamenog ugljena t/t
5	4	0,4
10	4,5	0,35
30	5,5	0,26
50	7	0,23
80	10	0,20
100	11	0,18

23.083 Taljenje u elektro-pećima

Pri taljenju u elektrolučnim i indukcijskim pećima također se upotrebljava **bazični** ili **kiseli** postupak, ovisno o vrsti obloge elektro-peći. Prednost imaju bazične peći zbog mogućnosti rada s manje vrijednim sirovinama. Zasip takvih peći može biti bez sirova

željeza. Taljenje u elektro-pećima je brže pa je i izgor ugljika manji nego u SM-pećima. Pri taljenju u bazičnoj lučnoj peći obično se radi sa dvije vrste šljake: **oksidacijska,** kao kod SM-peći, koja odstranjuje C, Mn, Si i P, te **dezoksidacijska,** kojom se uklanjaju oksidi i S.

Taljenje u indukcijskoj peći je po vrsti postupka i po metalurškim reakcijama jednako kao i kod lučne peći. Zbog vrtložnog gibanja taline taj je postupak prikladan za izradu legiranog čeličnog liva. Šljaka je nešto hladnija jer se zagrijava iznutra, tj. od slitine.

Utrošak energije za taljenje u elektro-pećima

Tablica 2.

Težina zasipa t	Bazična lučna peć kWh/t	Kisela indukcijska peć kWh/t
1	1 200	770
2	1 000	720
3	940	690
5	870	680
10	800	670

Podaci iz tablice 2. odnose se na provedbu postupka taljenja sa sve tri faze (vidi 23.082). Utrošak energije dijeli se otprilike u omjeru taljenje: oksidacija i dezoksidacija = 60 : : 20 : 20.

Trajanje taljenja ovisi o provedbi pojedinih faza. Kao smjernica može se uzeti prosječno trajanje od 6 sati, time da je:

taljenje	2,5 sata
oksidacija	0,5 — 1,2 sata
dezoksidacija	2 — 2,5 sata.

Električne peći se racionalno primjenjuju i u kombinaciji s kupolnom peći (duplex--postupak), pri čemu se elektro-peć puni slitinom čelika iz kupolke pa se zatim završno obrađuje u elektro-peći. Na taj način može se utrošak energije po toni smanjiti otprilike na 500 kWh/t.

23.084 Taljenje u konverterima

Taj postupak je kombinacija rada kupolne peći i kiselo obloženog konvertera, sadržaja od 1 do 5 t. Slitina iz kupolke sa Si = 1,2 — 2%, Mn = 0,6 — 1,0%, P< 0,25% S < < 0,06% prelijeva se u konverter, gdje se propuhava zrakom od 0,2—0,4 atp u trajanju od 20 do 30 minuta. Količina zraka: 30—40 m³/min po toni sadržaja konvertera. Izgaranjem ugljika i ostalih pratilaca slitina se pretvara u čelik. Zbog egzotermnih reakcija vrlo je topla i prikladna za tankostijene i lagane odljevke.

Nakon završetka puhanja dodaju se FeSi, FeMn i dodaci za naugljičenje (sitni koks, sitni ugljen). Dodavanje je također moguće tek u ljevački lonac. Otapanje dodataka traje 3—4 minute. Izgor legiranih dodataka iznosi za Mn, Si otprilike 30%, C iz ugljena i koksa otprilike 50%.

Izgor željeza iznosi pri kombinaciji kupolka—konverter ukupno kojih 17%.

23.085 Kalupi za čelični liv

Za odljevke čeličnog liva upotrebljavaju se sirovi kalupi i sušeni kalupi. Zbog više temperature lijevanja treba odabirati pijesak i premaz za kalupe i jezgre veće vatrostalnosti.

Za suhe kalupe masivnih odljevaka upotrebljava se kalupna smjesa sastavljena od šamota, gline i kremenog pijeska.

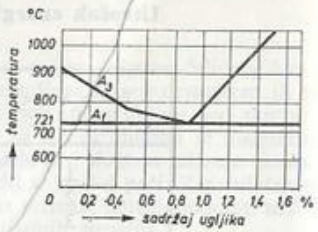
Ostalo o kalupljenju vidi kod 23.01, 23.02 i 23.03.

23.086 Žarenje čeličnog liva

Pri skrućivanju čeličnog liva nastaje grubo zrnata struktura i u odljevku zaostaju unutarnje napetosti. Zbog toga se odljevcima postupkom žarenja usitnjava struktura i uklanjaju unutarnje napetosti.

Režim žarenja je takav da se odljevci zagriju 30—50°C iznad temperature pretvorbe A_3 (vidi dijagram ①), koja ovisi o sadržaju ugljika. Zadržavanje na toj temperaturi traje dotle dok se svi dijelovi odljevaka zagriju jednoliko. Zatim se brzim hlađenjem do ispod A_3 postiže usitnjavanje zrna, a onda se sporim hlađenjem uklanjaju unutarnje napetosti.

Takav proces traje ukupno kojih 20—24 sata.



① Dijagram režima žarenja čeličnih odljevaka

Oplemenjivanje čeličnog liva, tj. povećanje čvrstoće postiže se naglim hlađenjem odljevaka u vodi ili u ulju s temperaturom otprilike 900°C, te naknadnim višesatnim zadržavanjem na 500—650°C. Kod tanjih i složenih odljevaka taj se postupak ne preporučuje zbog opasnosti pukotina.

Peći za žarenje mogu biti s krutim, tekućim i s plinovitim gorivom i električnom strujom.

Utrošak energije za žarenje čeličnog liva Tablica 3.

Sadržaj peći t	Gorivo	Utrošak topline kcal/kg
3— 5	kameni ugljen	1 470—2 460
10	generatorski plin	1 040—1 050
25—30	kameni ugljen	1 050—1 280
22—30	koksni plin	675— 720

23.09 IZRADA LIVA OBOJENIH METALA

23.091 Peći za taljenje obojenih metala

Tiganjske peći sa stabilnim tignjem upotrebljavaju se za sadržaj do 100 kg teških obojenih metala. Izvode se tako da tiganj bude djelomično ili potpuno ispod razine poda.

Tiganj je od grafita ili čelika, prema vrsti slitine. Pošto je završeno taljenje, tiganj s rastaljenom slitinom vadi se iz peći i prazni. Tiganjske peći s nagibnim tignjem izvode se za sadržaj slitine od 50 do 700 kg budući da se tiganj ne mora vaditi. Taljenje teče brže jer se tiganj ne hladi zbog vađenja. Za taljenje lakih obojenih metala izvode se tignjevi do 1 000 kg sadržaja.

Plamene peći izvode se kao stabilne i kao prijevozne. Za taljenje slitina bakra i nikla primjenjuje se loženje naftom i plinom, a za slitine aluminija upotrebljavaju se i kruta goriva. Zbog dodira slitine s plinovima izgaranja dolazi do oksidacije i upijanja plinova. U stabilnim pećima nema dovoljnog gibanja slitine. Najbolji stupanj djelovanja imaju rotacijske plamene peći, koje rotiraju oko uzdužne osi. Prazne se nagibanjem oko poprečne osi.

Električne peći izvode se na nekoliko načina:

Lučne peći, s jednim ili više električnih lukova iznad površine taline, bez dodira sa talinom i peći s prolazom struje izmedu obiju elektroda kroz talinu.

Otporničke peći upotrebljavaju se rijetko za teške obojene metale jer se metalnim ili ugljenim otpornicima teško ostvaruje potrebna temperatura. Za lake obojene metale služe peći s metalnim otpornicima, za trajne temperature do 850°C, a kratkotrajne i do 900°C.

Indukcijske peći prikladne su zbog intenzivnog gibanja taline, što pospješuje izradu slitina. Izvode se kao peći s jezgrom ili bez nje. Kretanje taline može se regulirati promjenom frekvencije ili isključenjem pojedinih dijelova uzvojnice.

Utrošak energije za taljenje (smjernice) Tablica 1.

Vrsta peći	Talina	Utrošak
Tiganjska peć	slitine Cu	koks 150—250 kg/t
Tiganjska peć	slitine Al	koks 200—250 kg/t
Lučna bubnjasta peć	slitine Cu	električna energija 350—450 kWh/t
Otpornička peć	slitine Al	električna energija 450—550 kWh/t
Indukcijska NF peć	slitine Cu	električna energija 380—550 kWh/t

23.092 Taljenje i lijevanje teških obojenih metala

Mjed se tali najčešće u tignju. Na dno tignja stavi se Cu, lomljevina i Zn te polovina dezoksidirajućeg sredstva (fosfor—bakar). Nakon taljenja dodaje se druga polovica dezoksidansa i ostatak Zn radi hlađenja slitine. Slitina se pokriva prašinom drvenog ugljena, staklom i boraksom radi zaštite taline od plinova i radi toga da bi se smanjio i gubitak Zn. Pri taljenju u tignju izgor Zn iznosi 3—4% od sadržaja u slitini. Kod plamene peći izgor je veći.

Temperatura lijevanja je prema sastavu, od 1 000 do 1 050°C. Za vrste mjedi vidi JUS C.D2.300 i C.D2.301.

Bronca i crveni liv. Za kalajnu broncu tali se najprije Cu pod pokrovom od drvenog ugljena, uz dodatak 0,5—2% fosfor—bakra te se dodaje predgrijani Sn. Ako se tale blokovi slitine, treba talinu prekriti prahom drvenog ugljena i dodati bar 0,5% fosfor—bakra radi dezoksidacije i povećanja žitkosti. Za miješanje taline upotrebljavaju se ugljeni grafitom prekriveni štapovi da bi se izbjeglo onečišćavanje taline željezom. Temperatura lijevanja je 1 100—1 200°C.

Vrste bronze vidi JUS C.D2.302, C.D2.303, C.D2.305.

Za crveni liv tali se Cu, kao i za broncu, uz dodatak 0,2% fosfor—bakra. Tome se uz stalno miješanje dodaju predgrijane ploče Zn—Sn i Pb. Blokovi crvenog liva tale se pod pokrovom od praha drvenog ugljena, stakla ili boraksa, a dezoksidacija se provodi sa 0,1% fosfor—bakra. Izgor Zn treba kontrolirati i korigirati sastav dodavanjem predgrijanih ploča Zn.

Temperatura lijevanja je 1 150—1 250°C. Za vrste crvenog liva vidi JUS C.D2.304.

Bakar treba taliti brzo, bez znatnog predgrijavanja. Talina se od plinova štiti tako da se tiganj pokriva poklopcem ili posipava prašinom drvenog ugljena, boraksom. Neposredno prije lijevanja dodaju joj se male količine predlegura bakra sa Si, Al, P i Mg.

Kod bakra za električne vodiče treba da je što manje tih dodataka da bi se održala vodljivost Cu. Pri lijevanju valja ljevački lonac prinijeti tik uz ulivnu čašu da bi se izbjegla oksidacija bakra. Treba izbjegavati prelijevanje slitine. Slitina se miješa ugljenim ili grafitnim štapovima. Temperatura lijevanja je 1 150—1 200°C.

23.093 Taljenje i lijevanje lakih obojenih metala

Slitine aluminija najbolje se tale u električnim pećima zbog mogućnosti da se točno održavaju temperature i izbjegava predgrijavanje. U tiganjskim pećima dolazi lako do oksidacije. Oksid se lako miješa s talinom, pa radi odvajanja treba dodavati taljiva. Zato valja taliti sa što nižim temperaturama, bez pregrijavanja, s malom površinom taline, ne miješati talinu. Okside valja skidati neposredno prije lijevanja jer površinski sloj oksida štiti talinu od dalje oksidacije. Dodaju se legirani dodaci u obliku predlegura, uz predgrijavanje.

Temperatura lijevanja je 680—780°C.

Slitine magnezija tale se u željeznim tignjevima, u pećima koje se lože krutim, tekućim i plinovitim gorivima. Lomljevinu Mg-slitina treba očistiti od ostataka pijeska jer silicij iz pijeska izaziva krhkost odljevaka. Talina se prekriva i čisti dodatkom mješavine soli Mg—klorida. Pri tome se prljavština uklanja pri temperaturi taline 730—760°C. Zatim se ova prekriva solima, za zaštitu od oksidacije, zagrijava do 850°C te postepeno hladi na temperaturu lijevanja, koja iznosi 650—800°C, optimalno 720—770°C. Temperaturu treba stalno kontrolirati uronjenim pirometrom.

23.094 Kalupljenje

Obojeni metali liju se u pješčane kalupe, a kod većih serija u metalne kalupe višekratne upotrebe.

Laki obojeni metali najčešće se liju u sirove pješčane kalupe. Kalupi za teške obojene metale suše se, a ako se upotrebljavaju sirovi, pijesku treba dodati 10% prašine kamenog ugljena.

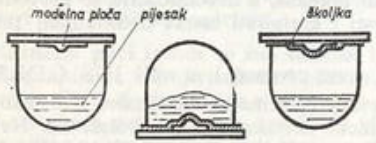
Kalupni i jezgreni pijesak upotrebljavaju se slično kao i za sivi liv. (Vidi 23.016.)

Pri izvedbi ulivnog sistema i sistema napajanja valja paziti na redoslijed skrućivanja, na slijeganje i na unutarnje napetosti. Zato se kod aluminijskih legura često upotrebljavaju rashladna tijela.

23.10 SPECIJALNI POSTUPCI LIJEVANJA

23.101 Školjkasti liv

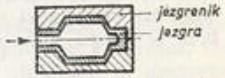
Postupak izrade školjkastog liva (tzv. postupak CRONING) zasniva se na izradi odljevaka u »školjkama« umjesto normalnih pješčanih kalupa. Školjka se izrađuje od smjese kremenog pijeska i bakelitnog veziva, i to na taj način da se metalna modelna ploča (od sivog liva, mjedi, aluminija) zagrije otprilike na 200—250°C. Posipavanjem zagrijane ploče opisanom smjesom stvara se u vremenu od kojih 20 sekundi zapečeni sloj debljine 3—5 mm, koji je vjeran otisak modelne ploče. Pošto se ukloni višak nezapečene smjese, školjka se još neko vrijeme peče, pa se nakon toga odvaja od modelne ploče ①. Ponavljanjem postupka izrađuje se potreban broj školjki.



① Postupak izrade školjki

Izrada jezgri tim postupkom također je moguća time da se smjesa ubacuje u šupljine predgrijanih metalnih jezgrenika. Na taj način dobiva se šuplja jezgra, koja ima debljinu stijenki od 3 do 5 mm ②.

Priprema za lijevanje u školjke sastoji se u spajanju polovica školjki u cjelinu. Za spajanje upotrebljavaju se stege ili polovice lijepljene posebnim bakelitnim ljepilom na odgovarajućim prešama.



② Izrada šupljih jezgri školjkastim livom

Lijevanje u školjke obavlja se na uobičajeni način. Vrijeme od izrade školjke do lijevanja nije ograničeno. To omogućava stvaranje zaliha školjki.

Područje primjene tog postupka je izrada odljevaka manjih dimenzija od svih materijala za lijevanje. Osobita prednost postupka je vrlo glatka površina odljevaka i točnost dimenzija. Moguće je ostvariti tolerancije dimenzija od ±0,2 mm. Jezgre izrađene tim postupkom primjenjuju se u kombinaciji s klasičnom izradom kalupa tamo gdje su nužne točne šupljine odljevka.

23.102 Precizni liv

Postupak izrade odljevka preciznim livom temelji se na jednokratnoj upotrebi voštanih ili drugih lako topljivih modela. Pri tome se model potpuno oblaže kalupnom smjesom pa nema grešaka koje inače nastaju pri sklapanju višedijelnih kalupa. Prije ulijevanja model se rastali, ističe iz kalupa i ostavlja šupljinu za odljevak. Tehnološki redoslijed postupka izrade preciznog liva je ovaj:

Izrada matičnog modela koji služi kao temelj za izradu matrice za voštane modele ako se matrica radi lijevanjem iz gipsa ili cementa. Matični model odgovara izgledu traženog odljevka.

Izrada matrice, koja je negativ odljevka, a služi za izradu velikog broja voštanih modela postupkom tlačenja. Često se matrica može izraditi i bez matičnog modela, tj. kad se radi skidanjem strugotine iz punog materijala. Materijali za matricu jesu: gips, cement, lako taljive slitine, cink, slitine aluminija, čelik.

Izrada modela, koji se izrađuje pomoću matrice, tlačenjem na prikladnim strojevima ili uz pomoć naprava.

Materijali za izradu modela jesu: parafin, stearin, cerezin, polistirol, karbamid. Ti materijali upotrebljavaju se pojedinačno ili u obliku dvokomponentnih i višekomponentnih smjesa, a imaju temperaturu taljenja ispod 100°C (osim karbamida, 130°C).

Spajanje modela koji se u velikom broju vezuju na zajednički ulivni sistem (poput grozdova) izrađen od istog materijala kao i modeli. Spajanje se provodi lijepljenjem.

Nanošenje veziva na grozdove sastavljene od modela i ulivnih sistema.

Kao vezivo služi: etil-silikat, pomiješan vodom uz dodatak alkohola, acetona i dr. Vezivno svojstvo temelji se na hidrolizi etil-silikata. Nanošenje se može izvršiti umakanjem i prskanjem.

Nanošenje kalupnog materijala na prethodno naneseno vezivo. Kao kalupni materijali upotrebljavaju se kvarc, šamot, magnezit, cirkon. Kalupni materijal nanosi se naprašivanjem na svježe vezivo. Na taj način stvara se na modelima sloj debljine do 5 mm. Pri tome se jednim nanošenjem dobiva sloj debljine otprilike 1 mm. Deblji slojevi izvode se višekratnim nanošenjem.

Sušenje kalupa (tj. modela obloženog kalupnim materijalom) obavlja se zrakom temperature 20—25°C, u trajanju od 2,3 do 3 sata za svaki sloj. Suši se u sušarama periodičnog ili kontinuiranog djelovanja.

Taljenje modela izvodi se toplim zrakom, parom, uronjavanjem u vrelu vodu i sl. Konstrukcija uređaja za taljenje omogućuje sakupljanje istaljenog materijala modela radi ponovne upotrebe.

Na taj način pripremljeni su kalupi koji imaju šupljine sa svih strana obložene osušenom kalupnom smjesom. Ulijevanje se obavlja na uobičajeni način.

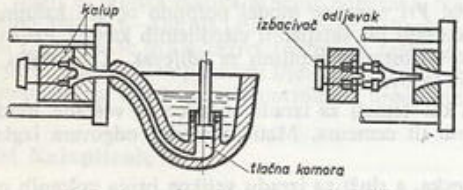
Područje primjene postupka ograničeno je uglavnom na izradu sitnih, ali kompliciranih odljevaka, umjesto izrade mehaničkom obradom iz punog materijala, kao što su npr. alati (glodala, svrdla, zupčanici i sl.), dijelovi za šivaće, pisaće, računske strojeve, aparate, lopatice turbina. Točnost dimenzija iznosi ±0,1 mm. Glatkoća površina gotovo odgovara mehanički obrađenima. Postupak je primjenljiv za odljevke svih materijala koji se mogu lijevati.

23.103 Tlačni liv

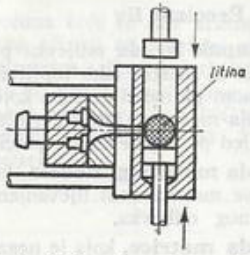
Tlačni liv je postupak lijevanja tekućeg ili tjestastog metala pod pritiskom od nekoliko desetaka atmosfera u kalupe višekratne upotrebe izrađene od čelika.

Prema njihovoj izvedbi strojeve za tlačno lijevanje dijelimo u dvije skupine. To su:

Strojevi s toplom komorom, za lijevanje tekućeg metala ③. Pri toj izvedbi tlačna komora nalazi se u kupelji rastaljenog metala, koji se grije izvana. Ti strojevi primjenjuju se za lijevanje slitina cinka i magnezija.



③ Stroj s toplom komorom za tlačni liv



④ Stroj s hladnom komorom za tlačni liv

Strojevi s hladnom komorom, za lijevanje tjestastog metala ④. Kod strojeva takve izvedbe metal se tali u posebnoj peći pored stroja te se žlicom ili automatski unosi u »hladnu« tlačnu komoru stroja. Takvi strojevi služe za lijevanje slitina cinka, aluminija, magnezija i bakra.

Kalupi za tlačno lijevanje Tablica 1.

Slitina za tlačni liv	Materijal kalupa	Prosječna trajnost kalupa, odljevaka	Temperatura kalupa °C	Temperatura lijevanja °C
Olovo	nelegirani alatni čelik	1 000 000	50 — 80	260 — 360
Cink	niskolegirani Cr, Cr-V čelik	500 000 — 1 000 000	80 — 200	380 — 440
Aluminij	Cr-V čelik Cr-W čelik	30 000 — 50 000	150 — 250	580 — 680
Magnezij	Cr-V čelik Cr-W čelik	50 000 — 100 000	150 — 250	600 — 680
Bakar	Cr-W čelik Cr-W-Co čelik	3 000 — 10 000	250 — 450	850 — 1 000

Kalupi za tlačno lijevanje izrađuju se uglavnom od legiranih čelika budući da su izvrgnuti velikim naprezanjima. Princip je izvedbe kalupa da se diobena ravnina postavi tako da materijal najbržim putem dospije u šupljinu kalupa, uz nesmetano izlaženje zraka iz kalupa.

Područje primjene odljevaka izrađenih tlačnim lijevanjem obuhvaća izradu vrlo velikog broja dijelova gdje postoje visoki zahtjevi u pogledu kvalitete površina i točnosti. Odljevci izrađeni tim postupkom najčešće su bez daljnje obrade prikladni za upotrebu, odnosno potrebna im je samo fina obrada na mjestima dosjeda. Provrti, vanjski i unutrašnji navoji mogu se najčešće izraditi lijevanjem, a moguće je i ulijevanje čahura, svornjaka i sl. od drugih metala ili nemetala.

Tlačnim postupkom liju se slitine Pb, Zn, Sn, Al, Mg i Cu. One moraju biti dovoljno žitke, ne smiju pri naglom ohlađivanju u metalnom kalupu stvarati šupljine i pukotine, moraju skrućivati u širokom rasponu temperature (eutektičke slitine).

Nedostatak je tog postupka što su metalni kalupi i strojevi za tlačno lijevanje vrlo skupi.

Primjena tlačnog liva — smjernice Tablica 2.

Slitina za tlačni liv	Debljina stijene odljevka mm	Tolerancije dimenzija mm	Minimalan promjer rupa mm	Maksimalna dužina rupa		Navoj	
				prolazne	neprolazne	vanjski mm	unutrašnji mm
Olovo	0,7 — 2,0	0,005 — 0,05	0,6	7 — 10D	3D	5	12
Kositar	0,5 — 2,0	0,005 — 0,03	0,6	7 — 10D	3D	5	12
Cink	0,5 — 3,0	0,02 — 0,04	1,0	6D	3D	10	15
Aluminij	0,8 — 3,0	0,03 — 0,06	2,0	4D	3D	12	20
Magnezij	0,8 — 3,0	0,02 — 0,04	2,0	6D	3D	10	15
Bakar	1,5 — 4,0	0,15 — 0,3	4,0	3D	2D	15	—

Strojevi za tlačno lijevanje odabiru se prema ovim bitnim karakteristikama:

- **volumen komore,** čime je, ovisno o metalu koji se lije, uvjetovana maksimalna težina odljevka koji se može izraditi
- **sila zatvaranja kalupa,** ujedno i maksimalna sila koja se može ostvariti
- **sila ubrizgavanja metala,** koja ovisno o stanju metala (tekuće — tjestasto) te o potrebnim specijalnim pritiscima, kao i o raspoloživim presjecima u kalupu, uvjetuje mogućnost primjene
- **najveći i najmanji otvor između klipa i oslonca,** čime je uvjetovana mogućnost primjene ovisno o dimenzijama odljevka i kalupa. Razlika najvećeg i najmanjeg otvora je hod klipa.

23.104 Bezdani liv

Bezdanim lijevanjem izrađuju se odljevci kontinuiranog presjeka (okruglog, kvadratičnog, šesterouganog ili sl.) neprekidnim lijevanjem slitine u bezdanu kokilu odgovarajućeg profila, koja se izdašno hladi. Odljevak u obliku šipke napušta kokilu užaren, ali konačno oblikovan, te se odrezuje na željenu dužinu.

Uređaji za bezdano lijevanje izvode se najčešće s vertikalnim kretanjem odljevka, no postoje i novije konstrukcije s horizontalnim kretanjem. Brzina lijevanja regulira se posmičnim uređajem s valjcima, koji izvlače netom odlivenu šipku iz kokile.

Odljevci izrađeni bezdanim lijevanjem imaju fino zrnatu gustu strukturu, bez nemetalnih uključina, glatke površine i kontinuirani presjek.

23.105 Nodularni liv

Nodularni liv (liv s kuglastim grafitom, sferitični liv) je takva vrsta sivog liva kod kojega je dodavanjem magnezija i cera postignuto da se grafit umjesto u lisnatom obliku izlučuje u obliku kuglica, nodula. Time je postignuto znatno povećanje čvrstoće na vlak, tj. umjesto 22—30 kg/mm² kod kvalitetnog sivog liva, postiže se kod nodularnog liva i do 70 kg/mm², a postupkom oplemenjivanja i do 100 kg/mm².

Postupak izrade nodularnog liva je patentiran, a sastoji se u tome da se talini sivog liva, rastaljenoj bilo u kom agregatu za taljenje (vidi 23.06) zatim dodaju u ljevačkom loncu legure cera i magnezija, koje stvaraju burnu reakciju popraćenu stvaranjem troske. Pošto se ova smiri i očisti, dodaje se grafitizator (npr. FeSi) i slitina se izlijeva u kalupe pa se za vrijeme skrućivanja grafit izlučuje u obliku nodula.

Proces stvaranja nodula jako ometaju neki pratioci željeza kao S, Pb, Sn, pa zatim Sb, As, Ti, Cr, V, Mo. Zato je potrebno pažljivo odabirati zasipne materijale i jako ih odsumporavati.

Prosječan sastav slitine prije cijepljenja: C=3, 4—3,8%, Si=2—2,5%, Mn<0,5%, P<0,1%, S<0,02%.

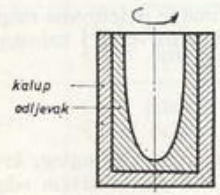
Cer se dodaje u obliku tzv. »Mischmetalla« (52% cera, 20—40% lantana, ostatak je željezo) u količini otprilike od 0,2%.

Magnezij se dodaje u obliku legure s niklom (20% magnezija) jer bi velika koncentracija magnezija izazvala burnu reakciju i velik izgor. Zbog toga što se razvija znatna količina magnezijevih para i blještave svjetlosti potrebna su pri provođenju tog postupka posebna zaštitna sredstva. Kalupi za odljevke od nodularnog liva izrađuju se na isti način i od istih kalupnih materijala kao i za sivi liv.

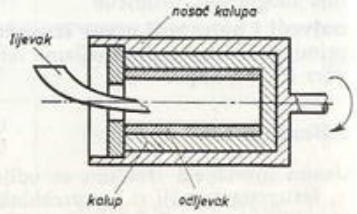
23.11 CENTRIFUGALNI LIV

23.111 Osnovi

Centrifugalno lijevanje je postupak pri kome se slitina ulijeva u rotirajuće (n = 500 —1 600 o/min) vertikalne ili horizontalne metalne kalupe te ona pod djelovanjem centrifugalne sile prianja uz stijene kalupa i skrućuje se. Klasičan centrifugalni liv služi za izradu cilindričnih rotaciono simetričnih odljevaka. U novije vrijeme tim se postupkom izrađuju i složeniji odljevci s rebrima i grebenima nejednolikih debljina stijena, s nejednolikim zaobljenjima i sl. Princip rada vertikalnog i horizontalnog centrifugalnog lijevanja vidi se na ① i ②. Prednost je centrifugalnog liva u usporedbi s livom u pješčane



① Primjer rada vertikalnog centrifugalnog lijevanja



② Primjer rada horizontalnog centrifugalnog lijevanja

ili metalne kalupe u tome što je odljevak gušće i finije strukture, nema uključina plinova ni ostalih štetnih uključina jer one kao specifički lakše ostaju na unutrašnjoj površini odljevka.

23.112 Postupci

Horizontalan centrifugalan liv dobiva se ulijevanjem slitine u kokilu koja rotira oko horizontalne osi. Za lijevanje cijevi i tuljaka do 1 200 mm dužine služe jednostavni strojevi sa zatvorenim dnom kokile i poklopcem na prednjem dijelu (vidi ②). Za cijevi većih dužina, do 6 m, upotrebljava se postupak BRIEDE-de-LAVAUD. Pri njemu rotirajuća kokila ima uzdužni posmik u odnosu prema lijevku za slitinu. Time se postiže jednoličan raspored metala i jednolično toplinsko opterećenje kokile.

Za izradu kokila upotrebljavaju se čelik, sivi liv, bakar, a u novije doba i grafit. Kokile se prije ulijevanja premazuju ili se zaprašuju materijama koje izoliraju. Ulaganjem jezgri na čelu kokile mogu se dobivati i profilirane cijevi. Tim postupkom izrađuju se odljevci od sivog liva, bakra i bakrenih slitina.

Vertikalan centrifugalni liv zahtijeva znatno masivnije strojeve, zbog potrebe većih centrifugalnih sila. Taj je postupak prikladan za izradu manjih odljevaka složenih dimenzija. Oblikovanje se postiže i ulaganjem jezgri (čelnika, tanjurastih zupčanika i sl.).

Centrifugalno spojeni liv je postupak metalnog i kemijskog spajanja dvaju metala centrifugalnim ulijevanjem. Pri tome se rastaljeni metal ulijeva u rotirajuću predgrijanu čahuru od osnovnog metala (najčešće čelik) ili se u rotirajuću čahuru osnovnog metala unosi drugi metal u krutom stanju te se zagrijavanjem čahure tali. Oba postupka su vrlo složena pa se primjenjuju samo izuzetno.

23.113 Primjena

Primjena centrifugalnog liva izaziva velike troškove za kokile i strojeve. Zato je opravdana samo iznad određenog broja komada u seriji. Područje primjene vidi se iz tablice 1.

Primjena centrifugalnog liva Tablica 1.

Materijal	Primjena
Čelik	tuljci, šuplji blokovi, čelnici i tanjurasti zupčanici
Sivi liv	tlačne i odvodne cijevi, cilindarske košuljice, užetnjače, kočioni prstenovi, kočioni bubnjevi
Crveni liv, bronca i olovna bronca	ležaji, tuljci, obloge osovina, ulošci cilindara, klipne karike
Kalajna bronca, aluminijska bronca, slitine aluminija	pužna kola, ležaji

23.114 Svojstva centrifugalno lijevanih materijala

Čelik se centrifugalno lije uglavnom vertikalnim postupkom. Usporedbom svojstava istog materijala lijevanog u mirujuće kalupe i lijevanog centrifugalno vidi se da se uz približno istu čvrstoću na vlak kod centrifugalno lijevanog čelika dobiva nešto veća granica popuštanja (za otprilike 10%) i veća žilavost (i do 50%).

Sivi liv pri centrifugalnom lijevanju u predgrijane metalne kalupe dobiva sivu strukturu prijeloma pa je obradiv bez prethodne termičke obrade. Sastav sivog liva, a napose sadržaj Si, treba prilagoditi debljini stijena. Grafit se pri centrifugalnom sivom livu izlučuje u obliku rozeta, a u strukturi prevladava sorbit. Zbog toga je takav liv otporniji na habanje.

Pri lijevanju u vodom hlađene metalne kalupe dobiva se bijela struktura prijeloma, pa odljevke treba žariti na 900 do 950°C.

Centrifugalno lijevane cijevi imaju u usporedbi s onima koje su lijevane u mirujuće kalupe za 15 do 20% veću otpornost na koroziju.

Obojeni metali nakon centrifugalnog lijevanja pokazuju još izrazitije finiju i izmijenjenu strukturu. Kod slitina obojenih metala postoji opasnost centrifugalnog razlučivanja zbog razlike u specifičnoj težini. Teže komponente slitine koje se sporije skrućuju izdvajaju se pri rotaciji uz stijenu kokile. Opasnost od razlučivanja je veća kad je kokila prevruća pa hlađenje teče sporo ili kad je temperatura lijevanja previsoka.

Kod centrifugalno lijevanih obojenih metala osobito raste otpornost prema habanju, pa i čvrstoća i tvrdoća.

Usporedba svojstava centrifugalno lijevanih obojenih metala

Tablica 2.

Materijali	Centrifugalno lijevano			Lijevano u kalupe koji miruju		
	σ_v (kg/mm²)	HB (kg/mm²)	δ %	σ_v (kg/mm²)	HB (kg/mm²)	δ %
Cu Sn 10	31	90	12	20	60	15
Cu Sn 14	32	115	3	20	90	3
Cu Sn 20	34	220	—	15	180	—
Cu Sn 10 Pb 10	30	80	12	18	70	15
Cu Sn 10 Zn 4	25	65	30	20	50	25

23.12 ČIŠĆENJE ODLJEVAKA

23.121 Istresanje

Iz kalupa se odljevci istresaju ručno ili pomoću uređaja za istresanje.

Uređaji za istresanje jesu:

- pneumatski ili mehanički vibrator, koji se prigraduje na obješeni kalup
- vibracijska greda s mehaničkim ili pneumatskim vibratorom, na koji se vješa kalup
- vibracijske rešetke s mehaničkim ili pneumatskim pogonom.

Vibratori i vibracijske grede upotrebljavaju se u ljevaonicama bez mehaniziranog transporta pijeska. Pri mehaniziranom transportu najčešće se upotrebljavaju vibracijske rešetke.

Vibracijske rešetke za istresanje Tablica 1.

Nosivost kg	Dimenzije rešetke mm	Snaga motora kW	Vrijeme istresanja za 1 kalup s
400	1 000 × 1 700	1,7	15—20
1 000	900 × 1 200	4,5	20—35
3 000	1 200 × 1 800	7,0	20—35
6 500	1 300 × 2 000	15,0	20—35

23.122 Grubo čišćenje

Grubo čišćenje obuhvaća čišćenje površina odljevaka od prigorenog pijeska i kalupnog premaza te istresanje jezgri.

Ručno grubo čišćenje obavlja se pomoću pneumatskih čekića, grebljica, žičanih četki i sl. Pneumatski čekići imaju 1 400—1 800 udaraca u minuti i troše otprilike 0,7 m³/min komprimiranog zraka 6 atp.

Proizvodnost ručnog čišćenja i kvaliteta ne udovoljavaju zahtjevima ekonomičnosti.

Strojno čišćenje obavlja se rotirajućim bubnjevima, strojevima za čišćenje s čeličnom sačmom i hidrokomorama.

Rotirajući bubnjevi, promjera 300—1 500 mm, dužine 600—3 000 mm, pune se do 80% volumena odljevcima, težine do maksimalno 100 kg. Okretanjem bubnja odljevci se međusobno taru i udaraju pa im se površina čisti. Čišćenje traje 0,5—2 sata.

Snaga za pogon je 1—15 kW. Nedostatak tog načina čišćenja je mala proizvodnost i deformacija (zaobljenje) na bridovima odljevaka.

Strojevi za čišćenje čeličnom sačmom imaju kao bitni sastavni dio rotor za čeličnu sačmu. Rotor promjera otprilike 500 mm sa 4, 6 ili 8 lopatica s kojih 2 200 okretaja u min, ima centralni privod čelične sačme, koju izbacuje tangencijalno, u količini od 90 do 100 kg/h. Snaga za pogon rotora iznosi kojih 10 kW. Usmjerivanjem mlaza sačme na odljevke ovi se čiste.

Čelična sačma — upute za upotrebu

Tablica 2.

Odljevci	Veličina zrna, mm	
	granulirana	sječena
Od sivog liva		
veliki	0,8—1,2	
maleni	0,3—0,8	
Od kovkastog liva		
veliki	0,8—1,0	
maleni	0,3—0,8	
Od čeličnog liva		
veliki	1,4—1,7	
maleni	1,0—1,2	
Od mjedi i bronce	0,4—0,8	0,4—0,6
Od aluminija		0,1—0,3

Čelična sačma dobiva se granuliranjem (obla sačma) i sječenjem čelične žice (oštra sačma). Sječena sačma je skuplja, ali bolje čisti odljevke. Tvrdoća sačme iznosi 600—700 HB.

Utrošak sačme za čišćenje iznosi prosječno 2—4 kg po toni očišćenog liva.

Strojevi za čišćenje čeličnom sačmom izvode se kao:

Stroj s bubnjem. — Beskonačnom i širokom čeličnom gusjenicom stvoren je koritast prostor u kome se odljevci zbog kretanja gusjenice prevrću uz istodobno sačmanje. Služi za odljevke do 25 kg koji nisu krhki.

Stroj s okretnim stolom. — Odljevci se polažu na okretni stol, koji polagano rotira i transportira odljevke u zonu djelovanja sačme. Služi za lagane i krhke odljevke.

Strojevi kontinuiranog djelovanja imaju beskonačan ovjesni transporter s kukama na koje se vješaju po jedan ili više odljevaka. Transporter unosi i opet iznosi odljevke iz komore za sačmanje, brzinom od 40 do 50 kuka na sat. U zoni sačmanja kuke se okreću i oko svoje osi da bi se sve strane odljevaka očistile.

Komore za čišćenje čeličnom sačmom služe za čišćenje vrlo krupnih odljevaka, koji se polažu na vagonet i unose u komoru stroja. Radi boljeg čišćenja vagonet u komori polagano rotira.

Strojevi za čišćenje čeličnom sačmom Tablica 3.

Vrsta	Maksimalna težina komada kg	Težina čišćenja kg	Vrijeme čišćenja min	Utrošak sačme kg/t	Instalirana snaga kW
Stroj s bubnjem	15	350—400	2—20	2—6	13
Stroj s okretnim stolom	50	1 200	2—4	3—5	15
Stroj s transporterom	120	6 000 kg/h	10 min/t	2—4	26
Komora	5 000	5 000	15—20	2—6	24

Hidrokomore se izvode za čišćenje krupnih i najkrupnijih odljevaka, s betonskom ili čeličnom komorom prilagođenom veličini odljevka. Za čišćenje služi voda pod tlakom od 50 do 150 at, koja izlazi kroz sapnicu promjera 4—8 mm, u količini do 10 m³/min. Sapnicom se upravlja izvan komore ili u komori, uz posebnu zaštitu radnika. Proizvodnost takvog čišćenja iznosi za sivi liv 1 500—2 000 kg/h, za čelični liv pak 1 000—1 600 kg/h. Pri tom načinu čišćenja potpuno se izbjegava razvijanje prašine, jezgreni kosturi ostaju uglavnom neoštećeni, a postoji i mogućnost regeneracije pijeska (odmuljivanje).

Nakon čišćenja u hidrokomori potrebno je koji put posebno očistiti jako prigoreni pijesak.

23.123 Odvajanje priljevaka

Priljevci se odvajaju odbijanjem, piljenjem, brušenjem, autogenim i elektrolučnim rezanjem.

Odbijanje priljevaka može se izvršiti ako se presjek priljevka oslabi na mjestu odbijanja (npr. bušenjem, brušenjem) tako da je manji od presjeka odljevka na tom mjestu.

Piljenje se obavlja tračnim ili kružnim pilama, pomoću odgovarajućih strojeva.

Brzine rezanja za kružne pile

Tablica 4.

Materijal	Brzina rezanja m/s
Sivi liv	0—14
Mjed	100—200
Čelični liv ČL 0300,0400	24—28
ČL 0500	20—24
ČL 0600	14—20

Autogeno rezanje primjenjuje se za odvajanje priljevaka pri čeličnom livu. Mogućnost rezanja ovisi o sastavu čelika. Sadržaj C do 1,8% ne smeta, a onaj iznad 2,3% C onemogućava rezanje. Sadržaji Si do 2,5%, Mn do 13%, Cr do 1,5%, Ni do 7%, Mo do 10%, Al do 0,5%, Cu do 0,7% omogućavaju rezanje. Iznad tog sadržaja rezanje je otežano ili nemoguće.

Autogeno rezanje nelegiranog čelika Tablica 5.

Debljina mm	Pretlak kisika atp	Utrošak kisika l/mm	Utrošak acetilena l/m	Brzina rezanja m/h
10	3	120	20	16,5
20	4	215	22,5	16
50	5	580	57	11
100	7,5	1 240	110	7,5
200	10	3 150	190	5
300	13	5 700	260	3,75

Elektrolučno rezanje daje nečiste i široke rezove. Za rezanje služi ugljena ili čelična elektroda. Tim postupkom može se osim čelika rezati i sivi liv, koji se autogeno teško reže, te bakar, koji se autogeno ne može rezati.

Brzina elektrolučnog rezanja

Tablica 6.

Debljina mm	Brzina rezanja m/h	
	sivi liv	čelik
10	20	8,5
30	6	3,7
50	2,2	1,6
60	1,5	1,1

Specijalni postupak, koji daje šire mogućnosti, jest rezanje sa šupljom elektrodom, uz dovođenje kisika (tzv. OXYARC-postupak). Tim se postupkom dobro režu sivi liv, legirani čelici, bakar i njegove slitine te aluminij i njegove slitine.

23.124 Brušenje

Brušenje je završna operacija čišćenja.

Smjernice za izbor brusnih ploča Tablica 7.

Materijal	Brusni materijal	Veličina zrna	Tvrdoća	Vezivo
Čelični liv	korund	12–24	P–R–S	keramičko i bakelitno
Mn-čelični liv	korund	10–16	P–R	
Sivi liv	silicijev karbid	12–20	P–R–S	
Bronca	silicijev karbid	10–30	P–R	keramičko
Aluminij	silicijev karbid	16–30	O–P	
Bakar	silicijev karbid	16–30	M–O	

Obodne brzine brusnih ploča treba da su što veće, u okviru propisa o sigurnosti na radu (vidi propise koji su na snazi).

Obodne brzine brusnih ploča (smjernice)
Tablica 8.

Materijal	Obodna brzina m/s
Ugljični čelik, legirani čelik	25–35
Sivi liv, bronca	20–30
Tvrdi liv	15–25
Laki metali	15

Brusilice koje se upotrebljavaju:

ručne, pneumatske ili električne, za brusnu ploču do 200 mm

stabilne, za brusne ploče 350–600 mm, debljina ploče do 60 mm, instalirana snaga do 4 kW, obično po dvije ploče na zajedničkoj osovini

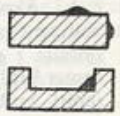
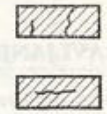
viseće, za brusnu ploču do 800 mm, instalirana snaga do 2 kW.

23.13 GREŠKE NA ODLJEVCIMA

Na odljevcima se češće pojavljuju greške izazvane raznim uzrocima. Radi jedinstvene klasifikacije tih grešaka izdao je Međunarodni komitet ljevačko-tehničkih udruženja 1950. godine atlas s klasifikacijom grešaka. Klasifikacija je po decimalnom sistemu. Sve su greške svrstane u devet glavnih skupina u okviru kojih postoji onda finija raspodjela prema obliku greške, prema izgledu, položaju, veličini i ostalim osobinama koje karakteriziraju grešku.

Značaj takve jedinstvene klasifikacije je u tome što se ona upotrebljava umjesto vrlo često upotrebljavane klasifikacije po uzrocima, koja je najčešće vrlo subjektivna. Klasifikacija greške po njenim vanjskim obilježjima objektivna je, a to omogućava sistematsko praćenje i proučavanje pojava grešaka. U originalnom izdanju Atlasa ljevačkih pogrešaka, kao i u prijevodu na naš jezik (vidi popis literature na čelu poglavlja 23) navedeni su i mogući uzroci grešaka. Taj podatak omogućuje izbjegavanje grešaka.

Podjela grešaka na glavne skupine Tablica 1.

Šifra	Naziv skupine grešaka	Skica
1 000	**Izrasline nepravilnih oblika** Suvišan, masivan ili plosnat dio lako uočljiv. Nepravilno odebljanje na površini; šupljina odljevka je potpuno ili djelomično ispunjena metalom.	
2 000	**Šupljina** Odljevak sadržava jednu ili više šupljina, koje su potpuno okružene metalom ili su kao mjestimično ograničene udubine na površini. Ako su šupljine od početka ispunjene stranim primjesama (pijeskom, šljakom, grafitom i sl.), greška se svrstava u skupinu 7000.	
3 000	**Prekid mase odljevka** Masa odljevka je potpuno ili djelomično prekinuta. Položaj prekida je proizvoljan. Pojedini dijelovi odljevka mogu biti još povezani, lako razvučeni ili potpuno odvojeni (odljevak je podijeljen na više raskinutih dijelova).	
4 000	**Pogreška na površini** Površina odljevka nije dovoljno glatka i jednolika ili ima neznatne uzvisine, plosnate otvorene šupljine ili plosnate površine uključine. Kad je uzvisina ili udubina u odnosu prema površini tolika da se ne može smatrati za pogrešku površine, svrstava se u skupinu 1 000, 2 000 ili 7 000.	

(nastavak) Tablica 1.

Šifra	Naziv skupine grešaka	Skica
5 000	**Nepotpun odljevak** Nedostaje dio odljevka; odljevak završava površinom nepravilnog geometrijskog oblika.	
6 000	**Netočna dimenzija ili oblik** Kontura odljevka je pravilna, ali ima grešaka u obliku ili u dimenziji.	
7 000	**Uključina ili heterogenost** Uključina: osnovna masa odljevka sadržava strane primjese (pijesak, šljaku i sl.). Ako su uključine izbile na površinu, mogu se ukloniti u toku čišćenja, obrade i sl. Nakon toga mogu ostati samo šupljine koje se ne smiju zamijeniti greškama iz skupine 2 000.	
8 000	**Deformacije** (odstupanje oblika) Kontura odljevka i mjere su pravilne, ali odljevak ima deformacije u cjelini ili na stanovitim dijelovima.	
9 000	**Pogreška koja se može uočiti samo pomoću alata** Odljevak izgleda bez pogreške, ali sadržava takve pogreške koje se ne mogu uočiti vizuelnom kontrolom.	

23.14 POPRAVLJANJE ODLJEVAKA

Popravljanjem odljevaka uklanjaju se nedostaci koji ometaju upotrebu odljevka ili narušuju njegov izgled. Metode popravljanja odabiru se tako da se ne umanji upotrebna vrijednost odljevka. To znači da popravljeno mjesto mora udovoljiti svim uvjetima upotrebe odljevka. Popravak je ekonomski opravdan ako se njime ostvaruje ušteda u odnosu prema izradi novog odljevka.

23.141 Metalizacija

Metalizacija je postupak nanošenja tankog sloja metala u rastaljenom stanju. Metal, u obliku žice ili praha, rastali se prikladnim pištoljem u plinskom plamenu ili pomoću električne struje pa se iz pištolja izbacuje u mlazu pomoću komprimiranog zraka ili plina. Moguća je metalizacija sa Pb, Zn, Al, Cu i čelikom. Da bi spajanje nanesenog sloja bilo što bolje, potrebno je površinu očistiti do metalnog sjaja i ohrapaviti (čišćenje dlijetom, brušenjem, sačmanjem).

Odljevci se uspješno popravljaju ako greška na površini ima manje dimenzije (promjer do 12 mm, dubina do 8 mm) ili pri popuštanju pri probi hidrauličnog pritiska. Ako odljevak propušta suze, dovoljan je sloj od 0,3 do 0,5 mm nanesenog metala, ako prokapljuje, treba nanijeti 1—1,5 mm.

Odljevci od sivog liva metaliziraju se na obrađenim površinama mekim čelikom, a na neobrađenim cinkom. Odljevci od obojenih metala metaliziraju se također cinkom. Sloj cinka treba neko vrijeme močiti da u porama nastanu netopljivi spojevi.

23.142 Impregnacija

Postupak impregnacije služi za popravljanje odljevaka koji propuštaju na pokusu hidrauličnog pritiska. Pri tome se na prikladan način začepljuju kapilarne pore kroz koje tekućina suzi. Metoda impregniranja nije prikladna za popravljanje odljevaka s grubim poroznostima ili sa takvima koje utječu na mehaničke osobine odljevka.

Sredstva za impregnaciju jesu: otopina salmijaka (45%), otopina vodenog stakla (10%), specijalna sredstva za impregniranje na bazi umjetnih smola.

Jednostavna impregnacija provodi se tlačenjem vode, otopine salmijaka ili otopine vodenog stakla u šupljini odljevka. Nakon tlačenja u porama nakon stanovitog vremena dolazi do korozije izazvane vodom i salmijakom ili do polimerizacije vodenog stakla. Taj način impregnacije ne garantira i ne daje trajnu nepropusnost na pritisak.

Sigurne i trajne rezultate daje postupak s kombinacijom vakuuma i pritiska za tlačenje sredstvom na temelju umjetnih smola. (npr. postupak »MOGULOID«). Redoslijed operacija:

- temeljito odmašćivanje odljevaka, npr. perkloretilenom
- stavljanje odljevaka u autoklav te evakuacija do 99% vakuuma u trajanju od 20 minuta
- tlačenje otopine za impregnaciju sa 6—8 at u vremenu od 20 minuta
- vađenje odljevaka iz autoklava i ispiranje vodom
- sušenje i polimerizacija, otprilike 30 minuta na 130°C.

23.143 Kitanje

Služi za popravljanje grešaka koje nagrđuju izgled odljevka, ako greška ne umanjuje mehaničke osobine odljevka.

Za popravke na neobrađenim površinama služe:

- minijev premaz
- smjesa od 70% metalnog praha (prema vrsti metala za koji se upotrebljava) i 30% bakelitnog laka.

Za popravke na obrađenim površinama služe specijalni dvokomponentni kitovi (npr. kit DIAMANT), koji se po boji ne razlikuju od metala za koje služe. Tvrdoća je takvih kitova HB = 90 kg/mm².

23.144 Zavarivanje čeličnog liva

Normalan čelični liv zavaruje se plamenim i električnim postupkom. Pri elektro-zavarivanju postoji uža zona zagrijavanja i promjene strukture odljevka. Zbog toga se češće primjenjuje postupak elektro-zavarivanja. Da bi se izbjegle pukotine pri zavarivanju, dobro je odljevak prije zavarivanja predgrijati (odljevci do HB = 200 ne moraju se pregrijavati; odljevci sa HB = 325 i više pregrijavaju se do 200°C) i nakon zavarivanja žariti da bi se uklonila napetost.

Kao žica za zavarivanje služi čelik otprilike istog sastava kao što je i odljevak koji treba zavariti. Pri elektro-zavarivanju žica se upotrebljava gola (za zavare bez zahtjeva u pogledu kvalitete, za ispravljanje grešaka izgleda) ili s oblogom (za kvalitetne zavare).

Legirani čelični liv zavaruje se posebnim postupcima, da bi se izbjegao nastanak oksida ili karbida legirajućih elemenata. Zato se pri plamenom zavarivanju upotrebljavaju taljiva, a pri elektrolučnom elektrode s plaštem.

23.145 Zavarivanje sivog liva

Sivi liv zavaruje se u hladnom i pregrijanom stanju. Zbog lokalnog zagrijavanja prednost ima elektro-zavarivanje.

Pri zavarivanju u hladnom stanju treba paziti da se postepenim zavarivanjem odljevak u blizini zavara ne zagrije iznad temperature koju podnosi ruka. Zavar je uz upotrebu žice od sivog liva ili čelika neobradiv. Obradive zavare daje žica od nikla ili monel-metala.

Prije zavarivanja treba mjesto zavara očistiti do metalnog sjaja. Hladno zavarivanje upotrebljava se popravljanjem grešaka u izgledu odljeva ili gdje je zagrijavanje otežano.

Toplo zavarivanje obavlja se na odljevku koji je predgrijan otprilike na 600°C. Okolina defektnog mjesta oblaže se materijalom za izolaciju (pijesak, glina). Plameno zavarivanje obavlja se redukcijskim plamenom, uz sodu i boraks kao taljivo. Elektrolučno zavarivanje izvodi se uz veliku dubinu zavara, s debelim elektrodama i jakom strujom. Kao žica služi sivi liv s nešto više C i Si od materijala odljevka. Nakon zavarivanja odljevak se postepeno hladi u peći ili u jami s temperature predgrijavanja.

Zavar je obradiv, po strukturi jednak osnovnom materijalu.

Toplo elektrolučno zavarivanje sivog liva (smjernice)

Tablica 1.

Debljina stijene mm	Promjer elektrode mm	Jakost struje A	Napon V
Do 15	6—12	250— 400	40
15 — 25	12—18	400— 600	50
iznad 25	18—25	400—1 200	65

Toplo plameno zavarivanje sivog liva

Tablica 2.

Debljina stijene mm	Promjer žice mm	Utrošak acetilena l/h
5 — 10	6— 8	750—1 200
10 — 15	8—10	1 000—1 700
iznad 15	10—20	1 700—2 500

23.146 Zavarivanje kovkastog liva

Bijeli kovkasti liv do 10 mm debljine stijene zavaruje se plameno pretičkom acetilena i neutralnim plamenom ako je potpuno razugljičen. Ako u jezgri ima žarnog ugljika, zavari postaju krhki. Nakon zavarivanja potrebno je žariti. Zato je bolje BTel zavarivati elektrolučno, elektrodama 2,5—4 mm, sa 12—18 A/mm².

Crni kovkasti liv se po pravilu ne zavaruje nego tvrdo lemi broncom pri 850° do 900°C, acetilenskim plamenikom i taljivom.

23.147 Zavarivanje aluminija i njegovih slitina

Plameno zavarivanje izvodi se uz dodatak taljiva koja su prema vrsti slitine sastavljena od halogena alkalnih elemenata. Postoji opasnost pukotina pri dužim zavarima, s izuzetkom silumina (11—13,5%), koji se dobro zavaruje i bez taljiva. Veličina plamenika je unatoč dobroj toplinskoj vodljivosti aluminija, za jedan broj manja od onih za čelik, ali prije početka zavarivanja treba odljevak dobro zagrijati. Dobro je u plamenu imati mali pretičak acetilena.

Elektrolučno zavarivanje obavlja se elektrodama istog sastava kao što je i osnovni materijal. Elektrode su debelo obložene. Za debljine stijena od 7 do 20 mm upotrebljavaju se elektrode promjera 7 mm i više i struje 180—220 A.

23.148 Zavarivanje bronce

Plameno zavarivanje bronce obavlja se neutralnim plamenom, uz dodatak taljiva. Žica za zavarivanje je istog sastava kao i osnovni materijal. Veličina plamenika je ista kao i za varenje čelika. Zavaruje se uz predgrijavanje na 400—500°C. Položaj je horizontalan jer je talina vrlo žitka. Zbog male čvrstoće bronce iznad 500°C valja odljevak čuvati od potresa i udaraca. Nakon zavarivanja žari se na 400—500°C i zatim se kali u vodi.

Elektrolučno zavarivanje obavlja se elektrodama istog satava kao što je i osnovni materijal.

BEARA mr. Ljubomir, mr dipl. inženjer strojarstva
VUKELIĆ Nikola, dipl. inženjer strojarstva

SPAJANJE

24.1 ZAVARIVANJE 771
Definicija — Zavarljivost — Napetosti pri zavarivanju — Priprema spojeva — Postupci — Zavarivanje raznih metala — Ispitivanje i kontrola
24.2 REZANJE I ŽLIJEBLJENJE METALA 818
Rezanje metala — Žlijebljenje
24.3 LEMLJENJE 826
24.4 LIJEPLJENJE 832

Literatura:

— Priručnik za autogeno zavarivanje
— Privredni pregled, Zagreb 1962.

Knez Ing. Leo: Priručnik za upotrebu dodatnog materijala kod zavarivanja topljenjem — Željezara Jesenice

Rajce-Haze: Stručni kurs elektrolučnog zavarivanja — Građevinska knjiga, Zagreb 1958.

Lheureux G. E. i *Belotte E. J.*: Le soudage par resistance — Dunod 1965.

Seferian D.: Les Soudures — Dunod 1954.

Krist Thomas: Werkstatt — Tabellen Band II — Fachbuchverlag 1959.

Sokolov: Spravočnik po svarke tom I i II — Gosudarstvenoe naučno tehničesko izdateljstvo mašinostroiteljnoj literaturi 1962.

Paton: Automatische Lichtbogenschweissung — Veb Carl Marhold Verlag 1958.

Živčić: Zavarivanje i srodni postupci — Društvo za tehniku zavarivanja SRH, Zagreb 1966.
— »Zavarivanje« — časopis Društva za tehniku zavarivanja Hrvatske

BEARA mr. Ljubomir, mr dipl. inženjer strojarstva
VUKELIĆ Nikola, dipl. inženjer strojarstva

SPAJANJE

24.1 ZAVARIVANJE 771
Definicija — Zavarljivost — Napetosti pri zavarivanju — Priprema spojeva — Postupci — Zavarivanje raznih metala — Ispitivanje i kontrola
24.2 REZANJE I ŽLIJEBLJENJE METALA 818
Rezanje metala — Žlijebljenje
24.3 LEMLJENJE 826
24.4 LIJEPLJENJE 832

Literatura:

– Priručnik za autogeno zavarivanje
– Privredni pregled, Zagreb 1962.

Knez Ing. Leo: Priručnik za upotrebu dodatnog materijala kod zavarivanja topljenjem — Željezara Jesenice

Rajce-Haze: Stručni kurs elektrolučnog zavarivanja — Građevinska knjiga, Zagreb 1958.

Lheureux G. E. i *Belotte E. J.*: Le soudage par resistance — Dunod 1965.

Seferian D.: Les Soudures — Dunod 1954.

Krist Thomas: Werkstatt — Tabellen Band II — Fachbuchverlag 1959.

Sokolov: Spravočnik po svarke tom I i II — Gosudarstvenoe naučno tehničesko izdateljstvo mašinostroiteljnoj literaturi 1962.

Paton: Automatische Lichtbogenschweissung — Veb Carl Marhold Verlag 1958.

Živčić: Zavarivanje i srodni postupci — Društvo za tehniku zavarivanja SRH, Zagreb 1966.
— »Zavarivanje« — časopis Društva za tehniku zavarivanja Hrvatske

OZNAKE

a — širina grla, visina upisnog trokuta u zavaru, visina zavara, mm
A — presjek točke pri točkastom zavarivanju u mm²
d — promjer točke u mm pri točkastom zavarivanju
E — oznaka elektroda za zavarivanje
EN — oznaka elektroda za navarivanje
f_n — odnos ukupne duljine pukotina kroz ukupne duljine svih zavara
f_g — faktor gubitka metala elektrode prilikom zavarivanja
G_1 — težina 1 m zavara u kp
G_e — težina elektrodne žice u gramima
j — gustoća struje A/mm²
K — ekvivalent ugljika
l_s — dužina zavara pri pokusu Komerell
P — sila pritiska u kp
q — presjek žlijeba u mm²
S — debljina lima u mm
U — broj elektroda po 1 m zavara
α — kut žlijeba
γ_a — odnos duljine pukotina i zavara u postocima

24.1 ZAVARIVANJE

24.11 DEFINICIJA

Svako spajanje materijala zagrijavanjem omekšanih ili rastaljenih dijelova uz primjenu pritiska ili bez njega nazivamo zavarivanjem. To se može izvesti dodavanjem dodatnog materijala i bez toga. Zavarivanjem također smatramo i spajanje nekih metala pritiskom (difuzija) bez dovođenja topline. To je hladno zavarivanje.
Da bismo izveli samo zavarivanje, možemo se poslužiti različitim postupcima. Oni se stalno usavršavaju ili nadomještaju novim, kako to zahtijeva razvoj materijala koje zavarujemo. Zavarivanje treba da je kvalitetno i ekonomično.
Prema tablici 1. moguće je s obzirom na vrstu i dimenziju nekih metala odabrati područje primjene odgovarajućeg postupka zavarivanja.

Primjena postupka zavarivanja ovisno o vrsti i debljini materijala

Tablica 1.

Materijal	Debljina lima u mm	Otvoreni električni luk				Pokriveni električni luk			Plinom zaštićeni električni luk				Plinsko zavarivanje	Elektro-otporno zavarivanje				Zavarivanje elektronskim mlazom	Zavarivanje ultrazvukom	Aluminotermijsko zavarivanje
		gole elektrode	obložene elektrode osim bazičnih	obložene bazične elektrode	elektrode s oblogom armiranom žicom	zavarivanje pod letvom	zavarivanje pod praškom	elektro-zavarivanje pod šljakom	zavarivanje atomiziranim vodikom	TIG	MIG: inertni plinovi Ar, He	MIG: aktivni plinovi CO_2 i mješavine plina		točkasto	šavno	bradavičasto	čeono iskrenjem			
Ugljični čelik	< 1					×			×	×			×	×	×				×	
	1...3	×	×			×	×		×	×		×	×	×	×	×	×		×	
	3...6	×	×	×	×	×	×			×		×	×	×		×	×			
	6...15	×	×	×	×	×	×					×	×	×			×			
	15...40		×	×	×		×	×				×					×			×
	> 40		×	×			×	×									×			×
Legirani čelik	< 1					×			×	×			×	×	×			×	×	
	1...3		×			×	×		×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	
	3...6		×	×	×	×	×			×	×	×	×	×		×	×	×		
	6...15			×	×		×				×	×	×	×			×			
	15...40			×	×		×				×	×					×			×
	> 40			×			×	×									×			×
Austenitni čelik	< 1								×	×				×	×			×	×	
	1...3			×		×	×		×	×	×			×	×	×	×	×	×	
	3...6			×			×		×	×	×			×		×	×	×		
	6...15			×			×				×						×	×		
	15...40			×			×				×						×			
	> 40						×	×									×			

(Nastavak) Tablica 1.

Materijal	Debljina lima u mm	Otvoreni električni luk				Pokriveni električni luk			Plinom zaštićeni električni luk				Plinsko zavarivanje	Elektro-otporno zavarivanje				Zavarivanje elektronskim mlazom	Zavarivanje ultrazvukom	Aluminotermijsko zavarivanje
		gole elektrode	obložene elektrode osim bazičnih	obložene bazične elektrode	elektrode s oblogom armiranom žicom	zavarivanje pod letvom	zavarivanje pod praškom	elektro-zavarivanje pod šljakom	zavarivanje atomizi-ranim vodikom	TIG	MIG: inertni plinovi Ar, He	MIG: aktivni plinovi CO_2 i mješavine plina		točkasto	šavno	bradavičasto	čeono iskrenjem			
Čelični liv	< 1																			
	1...3																			
	3...6																			
	6...15	×	×	×	×		×				×	×	×					×			
	15...40	×	×	×	×		×											×			×
	> 40	×		×			×	×										×			×
Legure bakra	< 1									×			×	×	×						
	1...3		×							×			×	×	×	×	×	×	×		
	3...6		×							×	×		×				×	×	×		
	6...15		×								×		×				×	×			
	15...40		×								×						×				
	> 40										×						×				
Nikal	< 1									×				×	×				×	×	
	1...3		×							×				×	×	×	×		×	×	
	3...6		×							×	×			×			×	×			
	6...15		×								×						×	×			
	15...40																×				
	> 40																×				
Legure nikla	< 1								×	×			×	×	×			×	×	×	
	1...3		×						×	×			×	×	×	×	×	×	×		
	3...6		×						×	×	×		×	×			×	×			
	6...15		×								×		×				×	×			
	15...40																×				
	> 40																×				
Ti Mo W Zr	< 1									×								×	×		
	1...3									×								×	×		
	3...6									×	×							×			
	6...15									×	×							×			
	15...40																				
	> 40																				

(Nastavak) Tablica 1.

Materijal	Debljina lima u mm	Otvoreni električni luk				Pokriveni električni luk			Plinom zaštićeni električni luk				Plinsko zavarivanje	Elektro-otporno zavarivanje				Zavarivanje elektronskim mlazom	Zavarivanje ultrazvukom	Aluminotermijsko zavarivanje
		gole elektrode	obložene elektrode osim bazičnih	obložene bazične elektrode	elektrode s oblogom armiranom žicom	zavarivanje pod letvom	zavarivanje pod praškom	elektro-zavarivanje pod šljakom	zavarivanje atomizi-ranim vodikom	TIG	MIG: inertni plinovi Ar, He	MIG: aktivni plinovi CO_2 i mješavine plina		točkasto	šavno	bradavičasto	čeono iskrenjem			
Temper liv i žilavi liv	< 1																			
	1...3																			
	3...6	×		×									×				×			
	6...15																			
	15...40																			
	> 40																			
Sivi liv	< 1																			
	1...3																			
	3...6																			
	6...15	×	×	×									×							
	15...40	×		×									×							
	> 40	×		×									×							
Aluminij i legure	< 1								×	×			×	×	×			×	×		
	1...3								×	×	×		×	×	×		×	×	×		
	3...6		×						×	×	×		×	×			×	×			
	6...15		×						×	×	×		×				×	×			
	15...40		×								×		×				×	×			
	> 40										×		×				×	×			
Bakar	< 1									×			×					×	×		
	1...3									×			×				×	×	×		
	3...6		×							×	×		×				×	×			
	6...15		×										×				×				
	15...40												×				×				
	> 40																				

24.12 ZAVARLJIVOST

Zavarljivost je najsloženiji dio područja zavarivanja. Problem je to veći što je materijal kompliciranijeg kemijskog sastava i što je veći sadržaj legirajućih elemenata i nečistoća. Osim toga na zavarljivost utječu dimenzije zavarivanih komada, primijenjeni postupak

zavarivanja, vrsta dodatnog materijala, upetost zavarivanog spoja, priprema i sam zavarivač.

Međunarodni institut za zavarivanje (IIW/IIS) preporučuje ovu definiciju za zavarljivost čelika: »Čelik je za određne svrhe i na određeni način zavarljiv ako je sposoban da se upotrijebi za izradu zavara kao konstrukcionih elemenata u zavarenoj konstrukciji, u kojoj se garantira kontinuitet spojeva, pri čemu ti spojevi po svojim mehaničkim osobinama moraju odgovarati lokalno našim zahtjevima, a istodobno moraju biti sposobni da prime na sebe i sve globalne posljedice koje izaziva pojava zavarenih spojeva u metalnoj konstrukciji.«

Zavarljivost dijelimo uglavnom na lokalnu i na globalnu. Lokalnom zavarljivošću smatramo operativnu i metaluršku sposobnost spajanja metala, dok globalnu još nazivamo i konstruktivnom, a odnosi se na ponašanje i na sigurnost zavarene konstrukcije, kad je izvrgnuta najnepovoljnijim radnim uvjetima. Operativna zavarljivost odnosi se na ponašanje materijala pri zavarivanju odgovarajućim postupkom i uz određene prethodne i naknadne radove koji su potrebni da bi se dobila odgovarajuća kvaliteta spoja. Metalurškom zavarljivošću smatramo sposobnost materijala da bez mnogo štete po svoje mehaničke i tehnološke osobine izdrži sve kemijsko-fizikalne promjene koje se događaju za vrijeme zavarivanja.

U tehnici zavarivanja čeličnih konstrukcija postoje danas dva aktualna problema: prvo, kako da se čelici laboratorijski ispitaju na zavarljivost da bismo već unaprijed utvrdili i kontrolirali njihovo lokalno i globalno ponašanje u zavarenoj konstrukciji, i drugo, po kojim načelima se čelici, s obzirom na stupanj svoje zavarljivosti mogu grupirati u razne vrste koje bi sasvim odgovarale raznim stunjevima važnosti zavarenih konstrukcija. Na temelju kemijskog sastava ili mehaničkih ispitivanja moguće je bez kompliciranih laboratorijskih uređaja približno odrediti zavarljivost pojedinih nelegiranih i niskolegiranih konstruktivnih čelika.

Najveći utjecaj na zavarljivost čelika ima ugljik kao redoviti pratilac svih vrsta čelika. Konstruktivne ugljične čelike sa sadržajem C do 0,25% smatramo zavarljivima. Veći postotak ugljika utječe na zakaljivost, to jest čini čelik osjetljivim na pukotine pa ga u normalnim uvjetima smatramo nezavarljivim.

Ako želimo znati ukupan utjecaj legirajućih elemenata na zavarljivost, treba da ih pomoću empiričkih formula preračunamo u ekvivalent ugljika.

Kerkhoff je dao ovu formulu za izračunavanje tog ekvivalenta:

$$K = 100\ C + 16\ Mn + 7\ Ni + 20\ Cr + 25\ Mo + 20\ Va$$

gdje se odgovarajući elementi uvrštavaju u postocima.

Neke od čelika, koji u normalnim uvjetima nisu zavarljivi, možemo zavarivati ako izvršimo predgrijavanje. Kerkhoff je utvrdio da čelik treba prilikom zavarivanja predgrijavati kad je:

$K > 50 - 1{,}5 \cdot S$, pri upotrebi elektroda s kiselom oblogom

$K > 70 - 1{,}5 \cdot S$, pri upotrebi elektroda s bazičnom oblogom

ali uvijek kad je $S > 32$, pri čemu je S debljina materijala u mm.

Temperature predgrijavanja kreću se od 50 do 350°C, što ovisi o veličini ekvivalenta K. Naknadno žarenje (normalizacija) potrebno je kad je $K > 75 - S$.

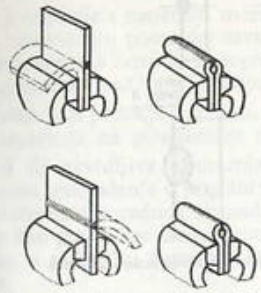
Metode ispitivanja konstruktivne zavarljivosti čelika

Danas postoji više metoda za ispitivanje konstruktivne zavarljivosti čelika, a razvijaju se i nove, kao što se razvijaju i čelici koje primjenjujemo. Želimo li preciznije utvrditi zavarljivost određene vrste čelika za danu konstrukciju, potrebno je da od postojećih metoda odaberemo onu koja će zadovoljiti naše zahtjeve.

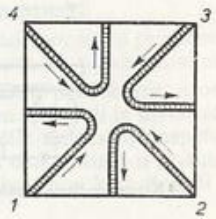
Neke jednostavne probe daju nam i bez posebnih strojeva za ispitivanje rezultate koji zadovoljavaju.

Prikladan način za svaku radionicu je ispitivanje zavarljivosti čelika ispitivanjem dviju pločica širine 20–80 mm i duljine oko 200 mm, uz odgovarajuću pripremu i postupak zavarivanja. Zavarene probe savijamo u škripcu s lica i korijena zavara, kao što je prikazano na ①, pa na temelju kuta savijanja i eventualnih pukotina zaključujemo kakva je zavarljivost.

Za ispitivanje zavarljivosti tankih čeličnih limova možemo se poslužiti Focke-Wulfovom metodom.

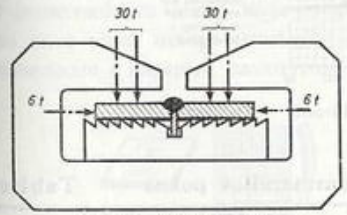


① Ispitivanje zavarljivosti čelika

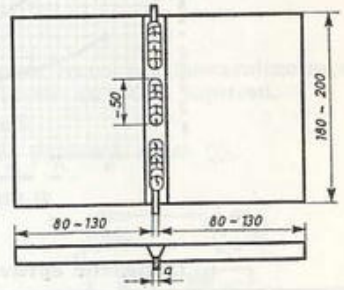


② Focke-Wulfova metoda za ispitivanje zavarljivosti tankih čeličnih limova

Na limu 100 × 100 mm izvršimo protaljivanje materijala, kao što je prikazano na ②. Ako se radi o nezavarljivu materijalu, na mjestu protaljivanja pojavit će se pukotine. Metoda za ispitivanje dodatnog i za izbor osnovnog materijala debljine 1–40 mm je Fisco-Cracking test. Dva komada lima čvrsto ukliještimo u napravu kako je prikazano na ③. Dimenzije uklještenih limova, kao i raspored zavara dani su na ④. Oblik žlijeba može biti I, V, Y ili U, a širina grla a 1–8 mm. Drugi se zavar izvodi tek pošto se prvi



③ Fisco-Cracking test



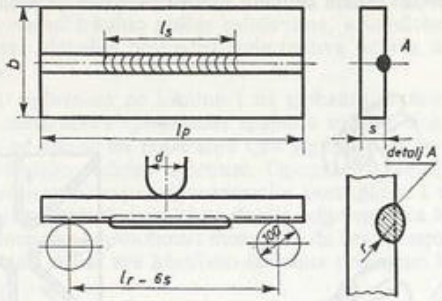
④ Dimenzije uklještenih limova i raspored zavara

ohladio na temperaturu od 50°C. Poslije hlađenja, koje traje najmanje 15 minuta, izvodi se savijanje da se otvore nastale pukotine kako bismo ih lakše izmjerili, bilo da su nastale u zavaru ili u okolini. Za pokus je osobito važna širina grla a jer se povećanjem a povećava i osjetljivost na pukotine.

$$\text{Iz odnosa } f_a = \frac{\text{ukupna duljina pukotina}}{\text{ukupna duljina svih zavara}} \cdot 100 \text{ u } \%$$

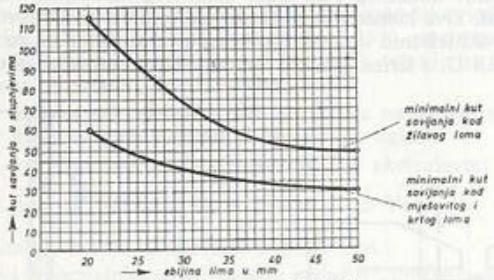
gdje je a oznaka širine grla, zaključujemo kakva je zavarljivost. Praktički smatramo da neka elektroda zadovoljava ako je uz $a = d$ (d = promjer elektrode) $f_a < 25\%$

Za limove iznad 20 mm često se upotrebljava Kommerellova metoda. Ispitujemo utjecaj toplinskih impulsa prilikom navarivanja na pogoršanje plastičnosti čelika. Mjerilo zavarljivosti čelika je kut savijanja koji izdrži lim do pojave loma. Na čeličnoj ploči ⑤ (dimenzije prema tablici 2) izdubimo na sredini lima žlijeb pa ga na dužini l_s mm zavarimo.



⑤ Kommerellova metoda ispitivanja zavarljivosti limova iznad 20 mm

Savijanje lima izvodimo do pojave loma koji može imati žilat, zrnat ili mješovit izgled. Dijagram na ⑥ prikazuje zavarljiv, loše zavarljiv i nezavarljiv materijal, ovisno o debljini i kutu savijanja pri prijelomu.



⑥ Dijagram zavarljivosti

Dimenzije epruvete za Kommerellov pokus Tablica 2.

Debljina lima s mm	Dužina lima (lp) mm	Širina lima (b) mm	Promjer žlijeba (2r) mm	Dužina zavara (Ls) mm	ø elektrode mm	ø trna za savijanje (d) mm	Razmak podloge (lr) mm	Jačina struje A
20–25	350	150	6	125	4	75	140	160–190
25–30	380	150	6	150	4	90	165	160–190
30–35	410	150	6	175	4	105	190	160–190
35–40	440	200	8	190	5	120	220	210–240
40–45	470	200	8	220	5	135	250	210–240
45–50	500	200	8	250	5	150	280	210–240

24.13 NAPETOSTI PRI ZAVARIVANJU

24.131 Napetosti i deformacije pri zavarivanju

Napetosti pri zavarivanju jesu zaostala unutarnja naprezanja nastala od toplinskih dilatacija, lokalnim zagrijavanjem pri zavarivanju i njihovu sprečavanju pri hlađenju. Kod čelika se zbog strukturnih promjena one povećavaju porastom brzine hlađenja.

Veličine i raspodjela napetosti ovise uglavnom o količini i koncentraciji topline, a time i o vrsti i provođenju postupka zavarivanja, o obliku radnog komada, o upetosti i njegovim sposobnostima odvođenja topline, o vrsti materijala (kod čelika se napetosti povećavaju s porastom sadržaja ugljika i legirajućih elemenata).

Vrlo je teško dati podatke o veličini napetosti koje očekujemo; točan proračun nije moguć, dok su mjerenja na površinama moguća bilo razornim ili nerazornim metodama.

Napetosti ili nevidljiva unutarnja naprezanja smanjuju sposobnost promjene oblika i mogućnost opterećenja u pogonu (što pogoduje krtom lomu) ili je djelomično smanjuju uslijed deformacije radnog komada koju su prouzročile unutrašnje napetosti, odnosno pukotine kao posljedice tih napetosti. Pod stanovitim okolnostima u prisutnosti kiselina ili lužina, u području napetosti javlja se napetosna korozija, koja dovodi do stvaranja pukotine.

Napetosti pri zavarivanju samo se rijetko mogu izbjeći (na primjer: zavarivanje na toplo), ali naknadnim toplinskim obradama (npr. žarenjem ili normalizacijom samog mjesta zavara ili čitavog radnog komada, otpuštanjem na nižim temperaturama električno i plinskim plamenom) ili iskivanjem na hladno mogu se te unutrašnje napetosti djelomično ili znatno smanjiti.

Opasnosti od pukotina smanjujemo žilavim osnovnim ili dodatnim materijalom (bazične elektrode ili u pojedinim slučajevima austenitne) te, ako je moguće, izbjegavanjem bar troosnog stanja napetosti. Općenito se smanjenjem deformacija povećavaju napetosti — i obrnuto.

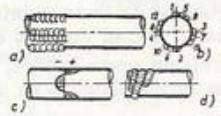
24.132 Nastajanje napetosti pri zavarivanju

Slijedeći dijagrami i slike prikazat će nam shematski veoma pojednostavnjeno napetosti od zavarivanja da bismo lakše mogli shvatiti načela nastajanja napetosti.

One su u stvari mnogo zamršenije i nepravilnije.

Deformacije i napetosti navarivanja ravne ploče prikazane su na ⑦.

⑦ Deformacije pri navarivanju ravne ploče



⑧ Navarivanje okruglih komada

Pri navarivanju okruglih komada uzdužnim navarcima treba da se držimo redoslijeda navarivanja prikazanog na ⑧.

Na ⑧c prikazana je raspodjela napetosti.

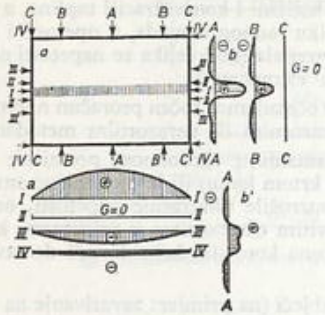
Navarivanje se može izvršiti i spiralno ako se radi bez prekidanja (automatski) ⑧d.

Ako se dva slobodna debela lima zavaruju uzdužno elektrolučno I zavarom, tada se uzdužne napetosti (paralelno sa zavarom) raspoređuju kao na ⑨ a poprečne (okomito na zavar) kao na ⑩.

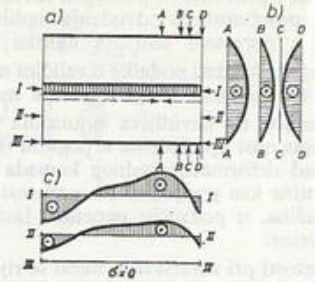
Uzdužne napetosti po ⑨b i c (prema ⑩) pravilno su raspoređene.

Plinskim zavarivanjem dobivamo — ⑨b′, uspoređujući ga prema elektrolučnom (⑨b), širu zonu zagrijavanja. Stoga ćemo dobiti i širu zonu vlačnih napetosti, ali manjih vrijednosti.

Možemo primijetiti da su vlačne napetosti pri elektrolučnom zavarivanju veće (manje deformacije) nego pri plinskom zavarivanju (veće deformacije).



⑨ Raspored uzdužnih napetosti



⑩ Raspored poprečnih napetosti

a — Čeono zavareni spoj dvaju limova

b — Raspodjela uzdužnih napetosti preko poprečnog presjeka od A—C

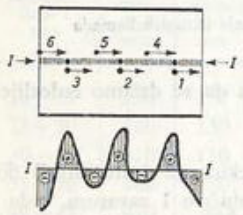
c — Uzdužne napetosti presjeka I—IV za elektrolučno zavarivanje

b′ — Napetosti u presjeku A pri plinskom zavarivanju

Na ⑩b i c prikazana je raspodjela poprečnih napetosti. Ovdje moramo primijetiti primjenu redoslijeda zavarivanja koji utječe na raspodjelu napetosti. U završnom krateru su vlačne napetosti uvijek velike, zato zavarivanje ne završavamo na rubu, već kraj zavara izvodimo od ruba prema unutra. Na taj način dobivamo na rubu tlačne napetosti, a to nam omogućuje da spriječimo pucanje zavara na rubu lima.

Uzdužne napetosti po ⑨ i poprečne napetosti po ⑩ djeluju u sredini zavara, to jest imamo dvoosne vlačne napetosti (ako zanemarimo napetosti u smjeru osi z). Kod debelih limova postoji opasnost da će se stvoriti velike troosne vlačne napetosti (opasnost stvaranja pukotine unatoč dobroj zateznoj čvrstoći), kad se naknadno ne žari.

Ako zavarujemo upete limove, bitno se mijenjaju odnosi napetosti u smislu povećanja vlačnih napetosti okomito na zavar.



⑪ Raspored poprečnih napetosti u sučeonom spoju pri zavarivanju napreskok

⑩ kao ⑨, s razlikom raspodjele poprečnih napetosti koje se odnose na redoslijed zavarivanja.

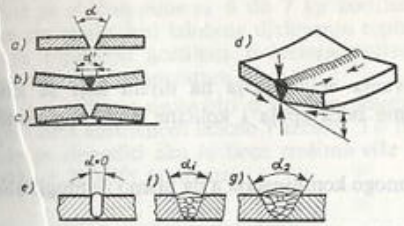
Zavarivanje napreskok ⑪, smanjuje, istina, stezanje, ali daje veće vrhove poprečnih napetosti, a to je opasno pri zavarivanju manje plastičnih čelika. Slično vrijedi i za zavarivanje rakovim korakom.

Kod čeonih V-spojeva pojavljuju se kutna, poprečna, uzdužna i visinska stezanja, koja izazivaju deformaciju zavarenog komada (konstrukcija).

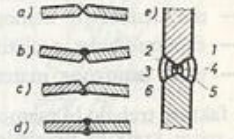
Kutne deformacije nastaju zbog toga što je zavar zagrijan šire na svom licu nego na korijenu, pa se zbog toga na licu više stegne.

Stezanja su to veća što je veći kut otvora žlijeba i što je više slojeva, to jest ona ovise o postupku zavarivanja i o slaganju slojeva.

Te deformacije mogu se izbjeći pripremom spojeva uz preddeformaciju ⑫ c ili učvršćenjem. Posljedice učvršćenja jesu povećane unutarnje napetosti.



⑫ Preddeformacije za izbjegavanje deformacija



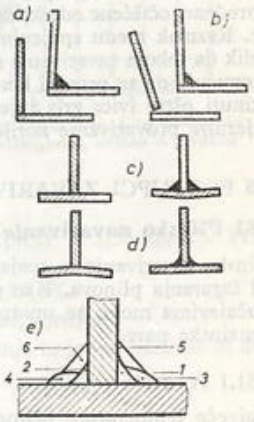
⑬ Redoslijed zavara pri X-spoju

Uzdužna stezanja nastaju od zagrijavanja na mjestu zavara kao posljedica jačeg zagrijavanja na licu zavara te kod tanjih limova dovode do izbacivanja (valovitosti).

Kod debelih limova dolaze do izražaja opasne troosne napetosti.

Najpovoljnije izvođenje zavarenog spoja u pogledu deformacija je I zavar ⑫e, a najnepovoljniji je V zavar, prikazan na ⑫ g. Pri zavarivanju debelih limova u X-spoju najbolje je zavarivati istodobno s obje strane ili prema redoslijedu prikazanom na ⑬e.

⑬a do d pokazuje primjer zavarivanja X-spojeva s preddeformacijom. Pri kutnim zavarima postoje kutna stezanja, koja ovise o visini kutnog zavara i o broju slojeva, a mogu se izbjeći preddeformacijom ⑭ b. Iste su po smislu deformacije kod T-spojeva.



⑭ Zavarivanje kutnih spojeva s preddeformacijom

24.133 Utjecaj napetosti na čvrstoću zavarenog komada

Sužavanjem zone zagrijavanja rastu uzdužne napetosti ⑨b, dok se poprečne pukotine pojavljuju samo kod loše zavarljivih materijala (rijetko).

Proširenjem zone zagrijavanja rastu poprečne napetosti ⑩, a to je uzrok eventualnih uzdužnih pukotina u zavaru ili pokraj njega. Kod materijala veće čvrstoće, kad imamo osnovni i dodatni materijal dobre rastežljivosti pri ispravnom izvođenju postupka zavarivanja zavarivani komad je rijetko izložen napetostima od zavarivanja, koja mogu dovesti do pukotina, i to ondje gdje imamo vrhove napetosti i nedovoljnu plastičnost osnovnog i dodatnog materijala ili nepovoljno raspoređene napetosti, tj. troosno stanje napetosti, čije visoke vrijednosti ne mogu izdržati ni najrastežljiviji materijal.

Opasnosti od pukotina uglavnom su pri niskim temperaturama. Zbog toga je u nekim slučajevima nužna naknadna toplinska obrada. Dinamička čvrstoća zavarenih konstrukcija (npr. postolja vozila na tračnicama i sl.) znatno se povećava brušenjem zavara da bi se uklonili zarezi; važno je izbjegavati nagle promjene momenta otpora (blagi prijelazi). Time izbjegavamo na prijelazima visoke napone pri opterećenju tokom rada.

24.14 PRIPREMA SPOJEVA ZA ZAVARIVANJE

Svrha je pripreme da osigura provarivanje (penetraciju) i lakoću zavarivanja potrebnu da se dobije kvalitetan zavar. Glavni faktori koji utječu na izbor pripreme jesu:

1 — vrsta zavarivanja (izvor topline i radne karakteristike)
2 — položaj zavarivanja
3 — debljina materijala i vrsta spoja
4 — stupanj provarivanja
5 — mogućnost ili nemogućnost sprečavanja deformacija na dijelu koji se zavaruje
6 — ekonomičnost s obzirom na pripreme ivica spoja i količine dodatnog materijala
7 — vrsta osnovnog materijala.

Te faktore trebalo bi razmotriti u odviše mnogo kombinacija a da bismo ih mogli obuhvatiti ovim kratkim pregledom.

Vrste spojeva i njihovo označavanje u crtežima koji se većinom upotrebljavaju pri zavarivanju čelika dani su u »Općem praktičaru«, poglavlje 7.

Kvaliteta zavarenog spoja uvelike ovisi o njegovoj pripremi. Ivice moraju biti ravno obrađene, očišćene od oksida i šljake, ako je obrada izvršena plinskim rezanjem, te masnoće. Razmak među spojenim dijelovima (otvor grla) mora biti ravnomjeran i dovoljno velik da tokom zavarivanja ne dođe do skupljanja limova, što pri čeonim spojevima onemogućuje da se provari korijen zavara. Pri pripremi V, X i sličnih spojeva potrebno je skinuti oštre ivice grla žlijeba, to jest valja izvesti zatupljenje da bi se dobilo što ravnomjernije provarivanje korijena zavara.

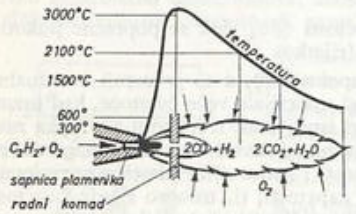
24.15 POSTUPCI ZAVARIVANJA

24.151 Plinsko zavarivanje

Plinsko zavarivanje je spajanje metala pri kojemu toplinu za taljenje metala dobivamo od izgaranja plinova. Kao gorivi plin najčešće se upotrebljava acetilen, a u posebnim slučajevima mogu se upotrebljavati vodik, gradski plin, propan, butan, plinsko ulje i benzinske pare.

24.151.1 Acetilen C_2H_2

Najveće temperature plamena postižemo izgaranjem acetilena s kisikom (~ 3 200°C) U plamenu ⑮ izgara acetilen s kisikom u volumenskom omjeru $C_2H_2 : O_2 = 1 : 1{,}1$ do 1,2 i tada imamo neutralan plamen.



⑮ Plamen acetilen – kisik

Proces izgaranja teče prema formuli:

$$2\,C_2H_2 + 2\,O_2 \rightarrow 4\,CO + 2\,H_2$$

Ako je u omjeru kisika manje od 1,1, imamo reducirajući plamen, tj. višak acetilena u plamenu. Ako je pak kisik u omjeru veći od 1,1, imamo oksidirajući plamen, tj. višak kisika u plamenu.

Prema brzini istjecanja plinova plamenove dijelimo na meke (80—110 m/s), normalne (110—130 m/s) i tvrde (130—160 m/s).

Acetilen se dobiva djelovanjem vode na kalcijum-karbid (CaC_2) (JUS H.F3.011)

$$CaC_2 + 2\,H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2 + 30{,}4\ kal$$

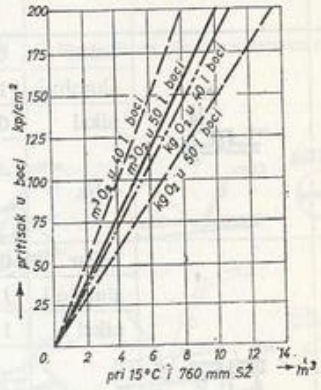
$$1\ kp + 0{,}56\ kp = 0{,}406\ kp + 1{,}16\ kp + 472\ kal$$

Kalorična vrijednost acetilena je 13 600 kcal/m^3_N. Specifična težina je 1,171 kp/m^3_N (pri 15°C i pritisku od 1 kp/cm² — 1,11 kp/m³). Sadržaj acetilena od 3 do 82% u zraku daje eksplozivnu smjesu (kisik-acetilen od 2,8 do 93%). Acetilen otopljen u acetonu i komprimiran na pritisak od (obično) 15 at u boce ispunjene poroznom masom nazivamo disuplinom (dissousgas).

Disuplin se dobavlja u bocama zapremnine 40 l, koje se obično pune sa 6 do 7 kp acetilena. Boce ne smiju biti izložene djelovanju topline jer se topljivost acetilena u acetonu mijenja s promjenom temperature ⑯.

Boca pri radu ne smije biti u ležećem položaju da ne bi s acetilenom izlazio i aceton. To isto može se dogoditi ako iz boce trošimo više od 1 000—1 200 l/h acetilena.

⑯ Promjena pritiska u boci ovisno o temperaturi



⑰ Sadržaj kisika u m i kg 40-litarske i 80-litarske boce, ovisno o pritisku

24.151.2 Kisik O_2

Specifična težina 1,43 kp/m^3_N (pri 15°C i pritisku od 1 kp/cm² — 1,38 kp/m³). Pritisak u boci obično je 150 at.

U bocu od 40 l stane 8—9 kp kisika. Čistoća je 99,2 do 99,8%.

Kisik ne smije doći u dodir s masnoćama jer izaziva zapaljenje.

Sadržaj kisika u boci prikazan je u dijagramu ⑰. Potražnja iz jedne boce ne bi smjela biti veća od 200 l/min.

24.151.3 Razvijači

To su uređaji u kojima iz kalcijeva karbida i vode dobivamo acetilen. Imamo niskotlačne (do 0,3 atm) i visokotlačne (od 0,3 do 1,5 at). Mogu biti prijenosni (kapaciteta do 3 000 l/h) i stabilni. Moraju biti opremljeni kontrolnim i sigurnosnim elementima koji omogućuju siguran rad. Pravilnik o zaštiti na radu i o tehničkim mjerama za razvijače acetilena i acetilenske stanice objavljen je u Službenom listu br. 6 od 1. 2. 1967.

24.151.4 Redukcijski ventili

Priključuju se na boce za kisik i disuplin da bi se pritisak iz boce reducirao na potreban radni pritisak.

24.151.5 Cijevi za plinske vodove

Izrađuju se od gume armirane platnom. Za kisik su plave ili zelene boje, dimenzija 6/14, 9/17 i 13/23.

Za acetilen su crvene boje, dimenzija 6/12 i 9/16 (JUS G.C6.020).

Priprema spojeva za plinsko zavarivanje bakra, aluminija, nikla i čelika

Tablica 3.

Vrsta spoja	Skica spoja	Materijal	Debljina lima S mm	Razmak među pripojcima mm	Otvor grla a mm	Kut žlijeba α° za zavarivanje		Promjer	
						ulijevo	udesno	sapnice mm	žice mm
1) Prirubni		bakar	0,5 – 3		0				
		aluminij	1 – 3		0				
		nikal	0,5 – 3		0				
		čelik	0,5	40 – 50	0			1 – 2	
			1	50 – 60	0			1 – 2	
			1,5	60 – 70	0			1 – 2	
Čeoni		bakar	0,5 – 4		1 – 4				
		aluminij	1 – 4		1 – 4				
		nikal	1 – 4		1 – 4				
		čelik	0,5	30	1			1 – 2	2
			1	50	1,5			1 – 2	2
			2	80	2,5			2 – 4	2
			3	125	3			2 – 4	3
			4 – 5	200	3 – 4			4 – 6	4
2) V		bakar	4 – 20		2 – 6				
		aluminij	4 – 20		1 – 4				
		nikal	4 – 20		1 – 4				
		čelik	5		2	70	50	6 – 9	4
			8		3	70	50	6 – 9	5
			12		3,5	70	50	9 – 14	6
			20		3 – 4	70	50	20 – 30	6
3) X		bakar	6 – 30		2 – 6				
		aluminij	6 – 30		1 – 4				
		nikal	6 – 30		1 – 4				
		čelik	12		1	80	60	6 – 9	5
			15		1,5	80	60	9 – 14	5
			20		2	80	60	14 – 20	6
			30		3	80	60	20 – 30	6

1) Uglavnom za Cu, Ni i nerđajući čelik. Za čelike uzimamo najčešće čeoni spoj.

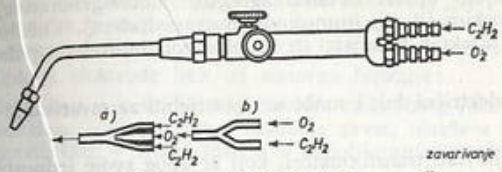
2) Kod neželjeznih metala većinom se upotrebljava za tanje limove, ili kad je pristupačno samo s jedne strane.

3) Primjenljivo kad je spoj pristupačan s obje strane. Postiže se velika brzina zavarivanja i dobra kvaliteta.

24.151.6 Plamenici za zavarivanje ⑱

Dijelimo ih na jednakotlačne, kod kojih kisik i acetilen dovodimo u komoru za miješanje pod pritiskom od 0,5 do 1 at, i injektorske niskotlačne, kod kojih kisik dovodimo u injektor pod pritiskom 1 – 3 at (»Teleoptik« 2,5 at), pri čemu siše acetilen, koji se nalazi pod pritiskom od 0,1 do 0,6 at.

Danas se uglavnom primjenjuju injektorski plamenici.

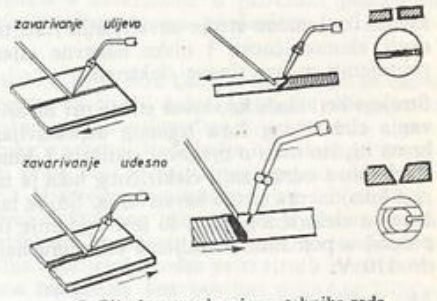


⑱ Plamenik za plinsko zavarivanje

24.151.7 Tehnika zavarivanja ⑲

Zavarivanje ulijevo je tehnika rada koja se danas primjenjuje za zavarivanje tankih limova (do 3 mm), dok se tehnika zavarivanja udesno primjenjuje za zavarivanje cijevi i debljih limova.

I pri jednoj i pri drugoj tehnici rada treba žižak plamena držati 2 do 5 mm od rastaljenog metala.



⑲ Plinsko zavarivanje – tehnika rada

Potrošnja kisika i acetilena za zavarivanje (Teleoptik) Tablica 4.

Veličina plamenika	1	2	3	4	5	6	7	8
Za materijal debljine u mm	0,5 – 1	1 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 9	9 – 14	14 – 20	20 – 30
Zavareno m/h	8 – 10	7 – 9	6 – 8	5 – 7	4 – 6	3 – 5	2 – 3	1 – 2
Potrošnja acetilena l/h	80	120	250	450	750	1 000	1 500	2 000
Potrošnja kisika l/h	80	120	250	450	750	1 000	1 500	2 000

24.151.8 Dodatni materijal pri plinskom zavarivanju i navarivanju (JUS CH3.051)

Žice za zavarivanje obično se odabiru prema mehaničkim osobinama osnovnog materijala. Čist zavar daje nam iste ili bolje mehaničke osobine. Žice za navarivanje odabiremo prema potrebnoj tvrdoći, ali kako ona ovisi o osnovnom materijalu i o brzini hlađenja, potrebno je prethodno ispitati navar.

Žice za navarivanje ne smiju se upotrijebiti za zavarivanje, dok je obratno moguće ako postižemo tražene uvjete.

24.152 Ručno elektrolučno zavarivanje otvorenim lukom

Pri tom zavarivanju koristimo se toplinom električnog luka za taljenje metala. Možemo se poslužiti ugljenim elektrodama kojima talimo osnovni metal, a ako je potrebno, sa strane dodajemo dodatni materijal (obično žica za plinsko zavarivanje). Kad uzmemo metalnu elektrodu, onda nam je ona ujedno i dodatni materijal. Zavarujemo istosmjernom ili izmjeničnom strujom, pri čemu se služimo posebno građenim izvorima struje.

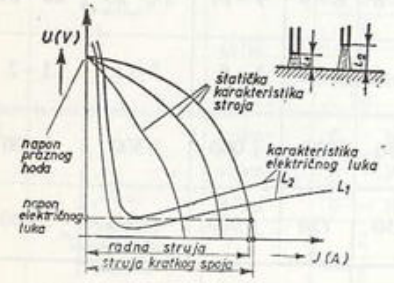
Za zavarivanje istosmjernom strujom upotrebljavamo agregate (motor-generatore) i ispravljače (transformator sa selenskim ili silicijum-diodnim ispravljačem). Elektrode mogu biti spojene na minus-pol (direktan polaritet) ili na plus-pol (indirektan polaritet), što ovisi o tipu elektrode.

Istosmjerna struja daje stabilniji električni luk i može se upotrijebiti za zavarivanje na svim tipovima elektroda.

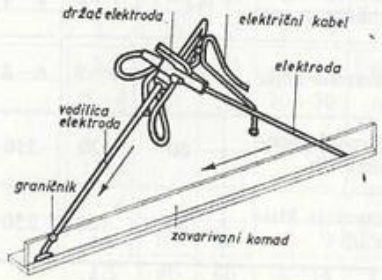
Izvori izmjenične struje zavarivanja jesu transformatori, koji se zbog svoje jednostavnosti, ekonomičnosti i niske nabavne cijene sve više upotrebljavaju, iako se ne mogu primijeniti za sve tipove elektroda.

Strojevi koji služe kao izvor struje pri zavarivanju treba da udovolje zahtjevima za održavanje električnog luka laganog uspostavljanja, kao i zahtjevima za prijenos materijala kroza nj, što ovisi o njegovoj statičkoj i dinamičkoj karakteristici. Važan faktor pri uspostavljanju i održavanju električnog luka je napon praznog hoda (napon paljenja električnog luka) izvora struje zavarivanja. Što je taj napon veći, to lakše je uspostavljanje i održavanje električnog luka, to jest ugodnije je zavarivanje, ali zbog sigurnosti zavarivača propisi u pojedinim zemljama određuju najviše dopuštene napone. Oni se kreću od 70 do 110 V.

Ako u dijagram ucrtamo promjene napona u zavisnosti od promjene struje, dobit ćemo statičku karakteristiku stroja ⑳. Stroj za ručno zavarivanje je to bolji što mu je statička karakteristika strmija, to jest što je struja kratkog spoja bliže radnoj struji. To znači da će pri ručnom zavarivanju stroj sa strmom karakteristikom imati male razlike u jačini struje ako se mijenja dužina električnog luka. Vrijednosti napona i struje za određenu dužinu električnog luka dobijemo ako u dijagram ⑳ ucrtamo karakteristiku električnog luka za odgovarajuću dužinu. Stroj ima bolju dinamičku karakteristiku onda kad brže



⑳ Statička karakteristika izvora struje i električnog luka



㉑ Gravitacijsko elektrolučno zavarivanje

prati promjene nastale u električnom luku. Dinamička i statička karakteristika ovise o konstrukciji stroja. Pri zavarivanju istosmjernom strujom dolazi do pojave skretanja (puhanja) električnog luka uslijed djelovanja magnetskog polja. To skretanje električnog luka može stvarati poteškoće pri zavarivanju pa je potrebno naginjati elektrodu ili pomicati pol (masu) na drugo mjesto.

Osim ručnog zavarivanja primjenjuje se i poluautomatsko elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama, koje se zasniva na tome da elektroda položena pod stanovitim kutom u žlijeb, taleći se kliže uslijed vlastite težine i težine držača po nosaču te, naslanjajući se na oblogu, održava konstantnu dužinu luka. ㉑

24.152.1 Elektrode za elektrolučno zavarivanje

Uglavnom imamo tri osnovna tipa elektroda: gole, one s jezgrom i obložene elektrode. Danas se za ručno zavarivanje najviše upotrebljavaju obložene elektrode, rjeđe elektrode s jezgrom, dok se gole elektrode gotovo i ne upotrebljavaju.

Obloga elektrode ima tri osnovne funkcije:

električnu — stabilnost i krutost električnog luka
fizikalnu — pokriva i zaštićuje zavar, olakšava zavarivanje u prisilnim položajima
metalurško — dezoksidacija i poboljšavanje kvalitete zavara unošenjem legirnih elemenata.

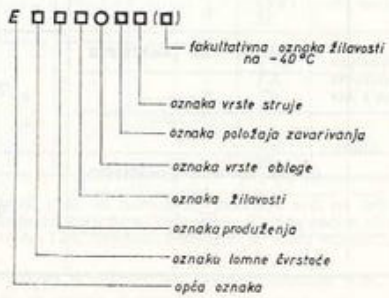
Kod tanjih obloga ta su djelovanja nešto slabija nego kod debljih obloga pa se danas većinom proizvode elektrode s debelom oblogom. Po cijeloj dužini elektrode obloga mora da bude okruglog presjeka i koncentrično nanesena na elektrodnu žicu jer ćemo u protivnom slučaju imati skretanje električnog luka u stranu. Radi bolje iskoristivosti (randmana) u oblogu elektrode dodaje se željezni prah, koji se pri taljenju prenosi u zavar i povećava količinu dodanog metala. Imamo elektroda čija iskoristivost iznosi 180%, pa i više. Sposobnost prodiranja (penetracije) električnog luka dublje u osnovni metal povećava se dodavanjem organskih tvari (celuloze) u oblogu elektrode. To svojstvo je napose izraženo kod celuloznih elektroda, koje zahtijevaju nešto veću struju zavarivanja, a omogućuju zavarivanje određenih debljina materijala bez posebne pripreme žlijeba. Jakost struje zavarivanja ovisna je o tipu i promjeru elektrode, a kreće se, uglavnom za normalne tipove, u granicama od 30 do 40 A po mm promjera elektrode.

Duljina električnog luka pri zavarivanju treba da je jednaka promjeru elektrode, osim kod bazičnih elektroda, gdje je za polovicu manja. Nagib elektrode pri zavarivanju zavisi od položaja zavarivanja. U načelu, bazične elektrode treba držati okomito na talinu jer šljaka treba da obavije električni luk da bi zaštitila talinu, dok se ostale drže nešto nagnute u smjeru zavarivanja da šljaka ne bi prethodila elektrodi.

24.152.2 Označavanje elektroda (prema prijedlogu JUS-a CH3.011)

Kao osnovni kriterij za označavanje elektroda uzimaju se mehaničke osobine čistog zavara, metalurške karakteristike obloge, položaj u kojem se obavlja zavarivanje i vrsta upotrijebljene električne struje.

Ukupne oznake jesu:



Opća oznaka: elektrode za elektrolučno zavarivanje nose oznaku E.

Oznaka lomne čvrstoće, produženja i žilavosti

Tablica 5.

Lomna čvrstoća*		Produženje		Žilavost**	
Oznaka	σ_L kp/mm² min	Oznaka	% δ_5 min	Oznaka	ρ_v kpm/cm² min
0	–	0	–	0	–
1	41	1	14	1	2,4
2	44	2	18	2	4
3	48	3	22	3	6
4	52	4	26	4	8,5
5	56	5	30	5	10
6	60	–	–	–	–

* Kao mjerodavne vrijednosti uzimaju se prosječne vrijednosti dobivene ispitivanjem dviju epruveta čistog zavara; ta vrijednost ne smije biti veća od 10 kp/mm² od vrijednosti navedenih u tabeli.

** Navedene vrijednosti vrijede za ispitivanje epruvete sa V-zarezom pod kutom od 45°, čiji je radijus korijena $r = 0{,}25$ mm. Oznake za vrste struje navedene su u tablici 6.

Oznaka vrste struje

Tablica 6.

Oznake	Istosmjerna struja	Izmjenična struja
	Polaritet koji se preporučuje	Nazivni napon praznog hoda
0	+	
1	dobra za oba polariteta	
2	–	50
3	+	
4	dobra za oba polariteta	
5	–	70
6	+	
7	dobra za oba polariteta	
8	–	90
9	+	

Ostale oznake navedene su u tablici 7. i u tekstu.

Podjela i opis tipova elektroda (prema DIN 1913)

Tablica 7.

1	2	3	4	5	6	7	8
	Kratka oznaka / Tip / Karakter obloge	Debljina obloge 1) 4)	Vrsta struje polaritet 2) 4)	Prijenos metala kroz luk 4)	Položaj zavarivanja 3) 4)	Vrsta šljake / Odstranjivanje	Provarivanje (penetracija) / Sposobnost popunjavanja otvora žlijeba
Neobložene elektrode	g				P ② PA PB H Vg N	ostavlja neznatnu šljaku	neznatno
	gole elektrode	—	—	velike kapi			
	stabilizatori električnog luka fino raspodijeljeni		(+)			—	vrlo dobro
	j				P ② PA PB H Vg N	ostavlja neznatnu šljaku	srednje dobro do duboko
	elektrode s jezgrom	—	—	velike kapi			
	stabilizatori električnog luka uvaljani u sredini (jezgra)		~			—	vrlo dobro
	R				P ① PA PB H Vg Vd N	nepropusna do porozna, prekrivanje ravnomjerno	srednje duboko do duboko
	rutilne	(t)	—	srednje do sitne kapi (velike kapi)			
	visok sadržaj umjetnog titandioksida ili rutila	s d	+ ~			lako	vrlo dobro do dobro ovisno o deb. pl.
Obložene elektrode	A				P PA PB H Vg ② N	spužvasta i ravnomjerno prekrivanje	duboko
	kisele	(t)	—	sitne kapi			
	visok sadržaj oksida (rude i silikati) i dezoksidaciona sredstva	s d	+ ~			vrlo lako	umjereno
	O				P ④ PA	nepropusna i ravnomjerno prekrivanje	malo
	oksidne	d	—	sitne kapi			
	visok sadržaj željeznih oksida i manganskih oksida ili bez njih		~			vrlo lako	vrlo loše
	B				P ② PA PB H ① Vg (Vd) N	tanak sloj i nepropusna	srednje duboko
	bazične	(s)	+	srednje do velike kapi			
	visok sadržaj kalcija i drugih bazičnih karbonata i dodataka kalijevih fluorita (flušpat)	d	(—) (~)			još se dobro skida	dobro
	C				P ① PA PB H Vg Vd N	najčešće se brzo skručuje; tanak sloj i nepropusna	duboko
	celulozna	s	+	srednje do velike kapi			
	visok sadržaj organskih tvari	(d)	(—) ~			dobro	vrlo dobro

— Ako se u oblogu doda željezni prah ili neki drugi materijal koji ne utječe na karakter obloge, onda takve elektrode pripadaju jednoj od gore navedenih vrsta. Kad se radi o elektrodama, bilo kiselim ili bazičnim, u čijoj oblozi ima više od 12% celuloze, računano na suhu supstanciju mase, ispred odgovarajuće oznake dodaje se slovo C.

— Elektrode ostalih vrsta s oblogom drukčijom od obloge elektroda ABC O i R označavaju se sa V.

— Elektrode sa sadržajem željeznog praška u oblozi nose još oznaku Fe.

— Elektrode za duboku penetraciju uz oznaku za karakter obloge nose još oznaku *p* (JUS C.H3.011).

Oznaka lomne čvrstoće, produženja i žilavosti

Tablica 5.

Lomna čvrstoća*		Produženje		Žilavost**	
Oznaka	σ_L kp/mm² min	Oznaka	% δ_5 min	Oznaka	ρ_V kpm/cm² min
0	–	0	–	0	–
1	41	1	14	1	2,4
2	44	2	18	2	4
3	48	3	22	3	6
4	52	4	26	4	8,5
5	56	5	30	5	10
6	60	–	–	–	–

* Kao mjerodavne vrijednosti uzimaju se prosječne vrijednosti dobivene ispitivanjem dviju epruveta čistog zavara; ta vrijednost ne smije biti veća od 10 kp/mm² od vrijednosti navedenih u tabeli.

** Navedene vrijednosti vrijede za ispitivanje epruvete sa V-zarezom pod kutom od 45°, čiji je radijus korijena $r = 0{,}25$ mm. Oznake za vrste struje navedene su u tablici 6.

Oznaka vrste struje

Tablica 6.

Oznake	Istosmjerna struja	Izmjenična struja
	Polaritet koji se preporučuje	Nazivni napon praznog hoda
0	+	
1	dobra za oba polariteta	50
2	–	
3	+	
4	dobra za oba polariteta	70
5	–	
6	+	
7	dobra za oba polariteta	90
8	–	
9	+	

Ostale oznake navedene su u tablici 7. i u tekstu.

Podjela i opis tipova elektroda (prema DIN 1913)

Tablica 7.

1	2	3	4	5	6	7	8
	Kratka oznaka / Tip / Karakter obloge	Debljina obloge 1) 4)	Vrsta struje polaritet 2) 4)	Prijenos metala kroz luk 4)	Položaj zavarivanja 3) 4)	Vrsta šljake / Odstranjivanje	Provarivanje (penetracija) / Sposobnost popunjavanja otvora žlijeba
Neobložene elektrode	g gole elektrode	—	— (+)	velike kapi	P ② P_A P_B H Vg N	ostavlja neznatnu šljaku —	neznatno vrlo dobro
	j elektrode s jezgrom stabilizatori električnog luka uvaljani u sredini (jezgra)	—	— ~	velike kapi	P ② P_A P_B H Vg N	ostavlja neznatnu šljaku —	srednje dobro do duboko vrlo dobro
	R rutilne visok sadržaj umjetnog titandioksida ili rutila	(t) s d	— + ~	srednje do sitne kapi (velike kapi)	P ① P_A P_B H Vg Vd N	nepropusna do porozna, prekrivanje ravnomjerno lako	srednje duboko do duboko vrlo dobro do dobro ovisno o deb. pl.
Obložene elektrode	A kisele visok sadržaj oksida (rude i silikati) i dezoksidaciona sredstva	(t) s d	— + ~	sitne kapi	P P_A P_B H Vg ② N	spužvasta i ravnomjerno prekrivanje vrlo lako	duboko umjereno
	O oksidne visok sadržaj željeznih oksida i manganskih oksida ili bez njih	d	— ~	sitne kapi	P ④ P_A	nepropusna i ravnomjerno prekrivanje vrlo lako	malo vrlo loše
	B bazične visok sadržaj kalcija i drugih bazičnih karbonata i dodataka kalijevih fluorita (flušpat)	(s) d	+ (—) (~)	srednje do velike kapi	P ② P_A P_B H ① Vg (Vd) N	tanak sloj i nepropusna još se dobro skida	srednje duboko dobro
	C celulozna visok sadržaj organskih tvari	s (d)	+ (—) ~	srednje do velike kapi	P ① P_A P_B H Vg Vd N	najčešće se brzo skručuje; tanak sloj i nepropusna dobro	duboko vrlo dobro

— Ako se u oblogu doda željezni prah ili neki drugi materijal koji ne utječe na karakter obloge, onda takve elektrode pripadaju jednoj od gore navedenih vrsta. Kad se radi o elektrodama, bilo kiselim ili bazičnim, u čijoj oblozi ima više od 12% celuloze, računano na suhu supstanciju mase, ispred odgovarajuće oznake dodaje se slovo C.

— Elektrode ostalih vrsta s oblogom drukčijom od obloge elektroda ABC O i R označavaju se sa V.

— Elektrode sa sadržajem željeznog praška u oblozi nose još oznaku Fe.

— Elektrode za duboku penetraciju uz oznaku za karakter obloge nose još oznaku *p* (JUS C.H3.011).

(nastavak) Tablica 7.

9	10	11	12	13	14
Osjetljivost na pukotine po DIN 50129	Izgled lica zavara	Lakoća zavarivanja	Karakteristične (prednosti) osobine	Specifičnosti pri primjeni	Primjedba
neznatna	visok, grubo složen	teže zavarivanje nego kod ostalih tipova elektroda	negativna (plastičnost) rastežljivost	visoki nanosi; primjenljive i kod loše pripreme; neznatne toplinske napetosti; male deformacije	lako skladištenje; neosjetljive na oštećenje
neznatna i kod čelika s većim sadržajem C	visok, grubo složen	nešto lakše zavarivanje nego kod golih elektroda	nešto bolja mehanička svojstva od golih elektroda	dobro se nanosi, primjenljiva i kod lošije pripreme, neznatne toplinske napetosti, male deformacije	neosjetljive na oštećenja
manja nego kod kiselih tipova	neznatno nadvišen, do ravan; lijepo do srednje grubo složen	s porastom debljine obloge lakše zavarivanje u P i H položaju	dobra mehanička svojstva	višestrana primjena i pri lošijoj pripremi; zavarivanje čelika s lošijom zavarljivošću; za zavariv. tankih limova	—
osjetljivost na tople pukotine raste s porastom sadržaja C, S i P u osnovnom metalu	gladak, fino slagan	s porastom debljine obloge lakše zavarivanje u P i H položaju	ovisno o debljini i karakteru obloge, dobra do vrlo dobra mehanička svojstva	za zavarivanje osjetljivih čelika zahtijeva se dobra priprema	—
osjetljivost na tople pukotine veća nego ostalih tipova	udubljen, vrlo lijepo slagan	lagano zavarivanje samo kutnih varova u žlijebu	lošija mehanička svojstva; jako izgaranje C i Mn	za nelegirane čelike s niskim sadržajem C, osobito lijep i gladak izgled lica zavara; zahtijeva dobru pripremu	—
manja osjetljivost na pojavu vrućih i hladnih pukotina od ostalih tipova	neznatno nadvišen, srednje grubo slaganje	zahtijeva uvježbavanje; posebno pri uspostavljanju i prekidanju električnog luka	bolja mehanička svojstva od ostalih tipova; osobito neznatan sadržaj H_2O, N_2; visoka udarna žilavost i pri niskim temperaturama	napose prikladna za zavarivanje većih debljina i krutih konstrukcija; za čelike s većim sadržajem C i S; za Tomasove i nisko legirane čelike	suho skladištenje; i najmanje ovlažene sušiti 1/2h na temp. od 250°C
manja osjetljivost na pukotine od kiselih elektroda	neznatno nadvišen, srednje grubo slaganje	lagano rukovanje, neznatno gomilanje šljake; jako dimi	dobra mehanička svojstva	za prisilne položaje; ne zahtijeva osobitu pripremu	—

1 — Debljina obloge: t = tanka, s = srednje debela, d = debela

2 — Oznaka za vrstu struje i polaritet:
- — istosmjerna struja minus-pol na elektrodi
- + istosmjerna struja plus-pol na elektrodi
- ~ izmjenična struja

3 — Položaj zavarivanja (22) i podesnost elektrode za zavarivanje u slijedećim osnovnim položajima označuje se ovako:

oznaka **1** u svim položajima i smjerovima (P, P_A, P_B, H, Vg, Vd, N)

oznaka **2** u svim položajima osim u vertikalnom odozgo prema dolje (P, P_A, P_B, H, Vg, N)

oznaka **3** u položenom, kutno položenom, u žlijebu i vertikalnom odozdo prema gore (P, P_A, P_B, Vg)

oznaka **4** u položenom i u žlijebu (P, P_A)

4 — Vrijednosti navedene u zagradama rjeđe se primjenjuju.

Slika položaja zavarivanja	Oznake položaja	Naziv položaja
	P	položen
	P_A	položen
	P_B	položen
	H	horizontalno vertikalan
	Vg [3]	vertikalan odozdo - gore
	Vd [3]	vertikalan odozgo - dole
	N	nadglavan

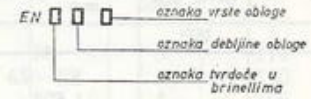
(22) Tumačenje oznaka položaja zavarivanja

24.152.3 Elektrode za navarivanje

Odabiru se prema željenoj tvrdoći i otpornosti na habanje. Pri navarivanju tvrdoća sloja ovisi i o brzini hlađenja, a kod nekih elektroda ona se uslijed udaraca i pritisaka tokom rada povećava.

Ove elektrode obično su obložene, ali mogu biti gole ili s jezgrom.

Označavaju se ovako:



Ako su gole, oznaka iza tvrdoće je *g*, a s jezgrom *j*.

Elektrode za navariranje ne smiju se upotrijebiti za zavarivanje, dok se elektrode za zavarivanje mogu upotrijebiti za navarivanje ako udovoljavaju uvjetima koje tražimo od navarenog sloja.

24.152.4 Izračunavanje potroška elektroda

Potrošak elektroda ovisi o debljini lima, o kutu žlijeba, o širini i visini grla žlijeba, o obliku zavara i ukupnoj dužini zavara, a broj elektroda računa se za 1 m zavara prema formuli:

$$U = \frac{G_1 \cdot 1\,000}{G_e} f_g$$

G_1 se računa tako da se presjek žlijeba q u mm² poveća za 10% radi nadvišenja zavara, pomnoži sa 1 000 da se dobije volumen te pomnoženo specifičnom težinom 7,85 kp/dm³ i podijeljeno sa 10^6 daje težinu u kp/m, tj.

$$G_1 = 1{,}1 \frac{q \cdot 1\,000 \cdot 7{,}85}{10^6} \text{ (kp/m)}$$

Ako radimo s različitim promjerima elektroda, potrebno je odrediti koliko postotaka zavara ćemo izvesti određenim promjerom pa na temelju te težine izračunavamo broj elektroda.

Teoretska težina čelične elektrodne žice u gramima

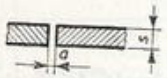
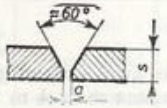
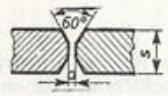
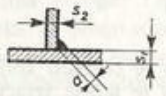
Tablica 8.

Kod ⌀ u mm	2,0	2,5	3,0	3,25	4,0	5,0	6,0	8,0
Dužine: 300 mm	7,4	11,6	16,65					
350 mm	8,63	13,5	19,4	22,8	34,5			
450 mm			25,0	29,3	44,3	69,3	100	177,3

Faktor gubitka f_g uzima se približno sa 1,3 što ovisi o zavarivaču i vrsti elektrode, tj. o tome koliko nerastaljene elektrode odbaci zavarivač (8–20%) i koliko gubimo prskanjem (10–15%), što opet ovisi o tipu elektrode.

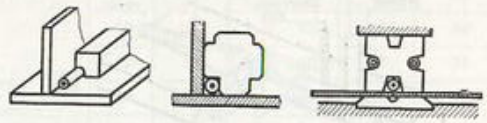
Ručno elektrolučno zavarivanje čelika obloženim elekrodama

Tablica 9.

Vrsta spoja	Priprema limova: Oblik žlijeba	Priprema limova: Otvor grla a mm	Debljina lima s mm	Promjer elektrode: Gole s jezgrom tanko obložene ⌀ mm	Promjer elektrode: Debelo obložene ⌀ mm
Čeoni		$\approx \frac{S}{2}$	1	2	2
			1,5	2	2
			2	2	2,5
			3	3	3,25
			4	4	4
			5	4	4
		≈ 2	5	4	3,25 i 4
			6	4 i 5	3,25 i 4
			8	4 i 5	3,25, 4 i 5
			10	4 i 5	3,25, 4 i 5
			12	4 i 5	3,25, 4 i 5
			14	4 i 5	4, 5 i 6
			16	4 i 5	4, 5 i 6
		≈ 2	12	4 i 5	3,25, 4 i 5
			14	4 i 5	3,25, 4 i 5
			16	4 i 5	3,25, 4 i 5
			18	4 i 5	4, 5 i 6
			20	4 i 5	4, 5 i 6
			25	4 i 5	4, 5 i 6
Kutni		Promjer elektrode ovisi o debljini lima i ponajčešće o propisanoj visini zavara, kao i o broju slojeva.			

24.153 Elektrolučno zavarivanje pod zaštitnom letvom (Elin-Hafergut)

To zavarivanje izvodi se obloženim elektrodama potrebnih dužina, koje se polažu uzduž spoja. Limovi se stavljaju na bakrenu podlogu sa žlijebom, a elektroda se pokrije izljebljenom bakrenom letvom, koja služi kao zaštita pri zavarivanju. Njome ujedno stegnemo limove ㉓.



㉓ Elektrolučno zavarivanje pod zaštitnom letvom

Električni luk se uspostavlja i održava između obložene elektrode i limova koje zavarujemo. Postupak se primjenjuje u serijskoj proizvodnji za zavarivanje tanjih limova, daje kvalitetan zavar lijepog površinskog izgleda.

Elektrolučno zavarivanje pod zaštitnom letvom Tablica 10.

Tanki limovi — čeoni zavar			Kutni zavar			
Debljina lima mm	⌀ elektrode mm	Jačina struje A	⌀ elektrode mm	Jačina struje A	Visina zavara	Presjek bakrene vodilice
0,5–0,8	2	50	3	110	2	30 × 30
0,5	3	65–70	4	170	3	30 × 30
0,8	3	80	5	190	4	40 × 40
1	3	90	6	210	5	40 × 40
1,5	3	90	8	320	6,8	50 × 50
2,0–2,5	3	95	10	450	8	50 × 50
2,5	4	130	12	570	9,5	60 × 60
3	5	180	15	750	11,5	60 × 60
4	6	220				

24.154 Elektrolučno zavarivanje pod praškom

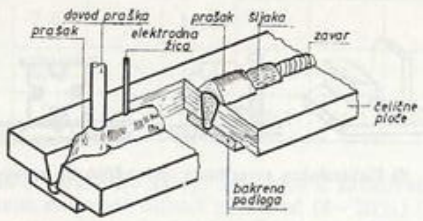
Nijemci nazivaju taj postupak UP ili ELLIRA, a kod nas ga često nazivaju EPP (elektrolučno pod praškom) ㉔.

Načelo je tog postupka da se električni luk i rastaljeni metal nalaze pod zaštitom praška od kojega se djelovanjem topline tvori plašt rastaljene šljake. Kao dodatni materijal služi žica, koju elektro-motor s koluta na stroju kontinuirano gura prema mjestu zavara. Lukom uspostavljenim između vrha žice i zavarivanog komada tali se žica i radni komad tako da se od zaštitnog praška ne vide ni luk ni mjesto taljenja. Žicu i prašak odabiremo prema vrsti zavarivanog metala; pri tome treba paziti da se za odabranu žicu upotrijebi odgovarajući prašak. Primjenjuje se kao poluautomatski ili automatski postupak u većini za zavarivanje konstruktivnih i nerđajućih čelika.

Ovdje se primjenjuju struje jakosti i do 2 000 A, najčešće 500–900 A, pa su prednosti velika brzina zavarivanja i ekonomičnost uz dobru kvalitetu zavarenog spoja. Obično se zavaruje jednom ili sa dvije žice da bi se povećao učin. Za navarivanje tim postupkom

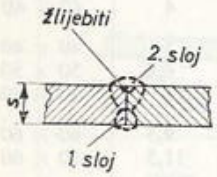
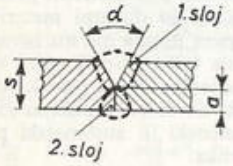
se osim žica upotrebljavaju trake širine 25—80 mm, a debljine otprilike 0,5 mm, gdje postižemo minimalno miješanje osnovnog s dodatnim metalom, što je napose važno pri platiranju (npr. čelika nerdajućim čelikom), i jednoličan navar.

Za ekonomičnu primjenu tog postupka važne su naprave koje će nam pojednostavniti pripremu.

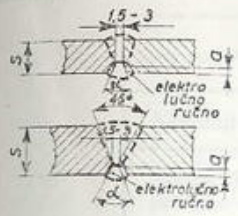


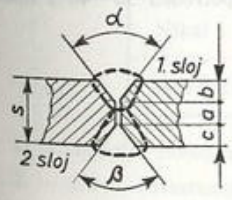
23 Elektrolučno zavarivanje pod praškom

Elektrolučno zavarivanje pod praškom Tablica 11.

Priprema spoja	Lim s mm	Žica ⌀ mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon el. luka V	Brzina cm/min	a mm	α°	Primjedba
	6	3—4 3—4	1 2	450 500	32 30	70—100 70—100	—	—	
	8	3—4 4	1 2	450 550	32 30	70—105 65—105	—	—	
	10	4 4	1 2	500 680	32 32	70—80 60—80	—	—	
	12	4—5 5	1 2	600 750	33 34	60 55—65	—	—	
	14	5 5	1 2	650 800	33 35	50 45—50	—	—	
	16	5 5	1 2	700 850	33 35	45 40	—	—	žlijebiti
	18	5—6 5—6	1 2	850 1 100	36 38	40 35	—	—	„
	20	5—6 5—6	1 2	950 1 100	36 38	40 35	—	—	„
	14	4—5 4	1 2	850 650	33 33	50 55	10	75	
	16	5 4—5	1 2	900 700	33 33	45 55	10	75	
	18	5 5	1 2	950 750	33 33	45 50	10	65	
	20	5—6 5	1 2	1 000 770	35 35	40 50	10	55	
	22	5—6 5	1 2	1 100 800	35 35	35 45	10	45	
	25	5—6 5	1 2	1 200 850	35 35	30 45	10	45	

(Nastavak) Tablica 11.

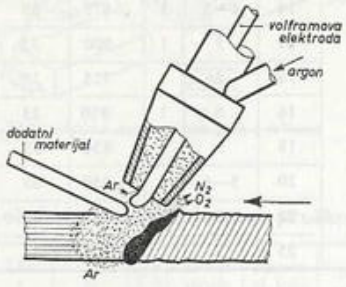
Priprema spoja	Lim s mm	Žica ⌀ mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon el. luka V	Brzina cm/min	a mm	α°	Primjedba
	6	4	1	550	28	70	3	60	
	8	4	1	600	30	65	4	60	A
	10	4	1	700	32	60	5	60	
	12	5	1	800	33	55	6	60	
	14	4—5	1	675	35	35—45	6	60	
	14	5	1	900	33	50—60	6	60	
	16	5	1	775	35	30—40	6	60	
	16	5	1	950	33	45—50	6	60	B
	18	5	1	850	35	25—35	6	60	
	20	5—6	1	1 050	33	25—40	6	60	
	22	5	1	1 125	35	28—30	6	60	
	25	5	1	1 200	37	23—25	6	60	

Priprema spoja	Lim s mm	Žica ⌀ mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka	Brzina zavarivanja cm/min	a mm	b mm	α°	c mm	β°
	10	4 4	1 2	550 600	33 33	55 50		0	0	3	*
	12	4 5	1 2	650 800	33 35	50 50		3	90	3	*
	14	4 5	1 2	700 800	33 35	50 45		4	90	3	*
	16	4 5	1 2	600 900	33 35	60 40	6	5	90	5	90
	18	4—5 5—6	1 2	600 900	33 35	50 40	6	6	90	6	90
	20	5 6	1 2	650 1 000	33 35	50 35	8	4	90	8	90
	20	5 6	1 2	650 1 000	34 35	45 35	8	6	90	8	90
	25	5 6	1 2	750 1 200	34 36	40 35	8	7	90	10	90
	28	5 6	1 2	900 1 000	34 36	35 30	10	8	60	10	90
* Nakon 1 sloja žlijebiti	32	5—6 6—8	1 2	1 100 1 350	35 36	34 30	10	10	60	12	70

24.155 Elektrolučno zavarivanje pod zaštitom plinova

Postoje dva osnovna postupka: TIG i MIG.

24.155.1 TIG je internacionalna skraćenica od **T**ungsten **I**nert **G**as. Još su poznate skraćenice WIG i ARGONARC, a sve se odnose na elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom pod zaštitnom atmosferom inertnih plinova (argon—Evropa, helij—Amerika). Između netaljive volframove elektrode (talište 3 370°C) i komada koji zavarujemo uspostavi se električni luk, koji tali mjesto spoja, a dodatni metal dodaje se ručno ili automatski sa strane u talinu (25).



(25) Postupak TIG

Prolazeći kroz sapnicu držača volframove elektrode, argon ili helij zaštićuju volframovu elektrodu i talinu od dodira sa zrakom. Za zavarivanje se većinom primjenjuje istosmjerna struja s minus-polom na elektrodi.

Pri zavarivanju aluminija, magnezija i njihovih legura koristimo se izmjeničnom strujom zbog elektromehaničkog čišćenja sloja teško taljivih oksida.

Za uspostavljanje električnog luka primjenjuje se dodatna visokofrekventna struja, a kod izmjenične struje ona služi još i za stabilizaciju električnog luka. Volframove elektrode često se legiraju torijevim oksidom (ThO_2 otprilike 2%) da bi bile otpornije, kako bismo ih mogli jače strujno opteretiti i da bismo dobili stabilniji luk zbog lakše emisije elektrona, čime je ujedno za uspostavljanje električnog luka potreban 30—40% manji napon.

Strujna opterećenja W-elektroda

Tablica 12.

Promjer elektrode ⌀ mm	Jačina struje u A	
	Čista volframova elektroda	Torirana volframova elektroda
1	15— 90	10—130
1,6	25—150	20—190
2,4	40—200	25—250
3,25	60—300	30—350
5	80—600	40—750

Čistoća argona ima veliku ulogu u kvaliteti zavarenog spoja, pogotovo kod lakih metala.

Argon treba da je čistoće 99,95%. Dobavlja se u čeličnim bocama pod pritiskom od 150—200 at. Potrošnja se kreće od 4 do 20 l/min, što ovisi o vrsti materijala i jačini struje.

Izbor struje zavarivanja za pojedine metale

Tablica 13.

Vrsta materijala koji se zavaruje	Istosmjerna struja		Izmjenična struja
	+	—	
Aluminij i legure	3	4	1
Magnezij i legure debljine < 3 mm	2	4	1
Magnezij i legure debljine > 3 mm	3	4	1
Nerđajući čelik debljine < 0,7 mm	3	1	3
Nerđajući čelik debljine > 0,7 mm	3	1	3
Nelegirani i niskolegirani čelik < 4	3	1	1*
Sivi liv	3	1	1**
Bakar i legure	3	1	3
Nikal i legure	3	1	3
Navarivanje	3	1	1***

1 — najbolje zavarivanje

2 — dobro zavarivanje

3 — ne preporučuje se zavarivanje

4 — zavarivanje nije moguće.

* Primjenjuje se kad je kod istosmjerne struje luk nestabilan ili kad se bojimo da nam talina ne procuri.

** Primjenjuje se pri zavarivanju u prisilnim položajima.

*** Primjenjuje se u stanovitim slučajevima: mali komadi i minimalno miješanje dodatnog metala s osnovnim.

Postupak TIG Tablica 14.

Vrsta materijala	Debljina materijala mm	Jačina struje u A		⌀ volframove elektrode		⌀ žice dodatnog metala mm	Brzina zavarivanja cm/min
		Istosmjerna struja	Izmjenična struja i visoka frekvencija	Istosmjerna struja	Izmjenična struja		
Krom-nikal	0,5	15	20	1	1	0,8	25
	0,8	25	30	1	1	0,8	25
	1	30	40	1	1,5	1	30
	1,2	35	50	1	1,5	1	30
	1,5	50	70	1	1,5	2	30
	2	70	90	1,5	1,5	3	30
	3	100	130	1,5	2,5	3	25
	4	120	160	2,5	2,5	3	20
	5	150	200	2,5	3	4	20
Aluminij	0,8		40		1,5	1	25
	1		50		1.5	1	30
	1,5		70		1,5	2	30
	2		100		2,5	2	30
	3		160		2,5	3	25
	4		200		3	3	25
	5		240		5	4	20
	6		280		5	4	20
	8		350		5	5	15
	10		470		6	6	15
Magnezij	1		40		1,5	1	25
	1,5		50		1,5	2	35
	2		60		1,5	2	35
	3		75		1,5	3	25
	4		100		2,5	3	20
	5		120		2,5	4	20
	6		140		2,5	5	15
Bakar*	1	65	80	1,5	1,5	1	25
	2	90	120	1,5	2,5	2	30
	3	130	160	2,5	2,5	2	30
	4	150	200	2,5	3	3	30
	5	190	230	2,5	3	3	25
	6	220	260	3	5	4	20
	8	250	300	3	5	4	15
	10	280	340	3	5	4	15

* Da bi se izbjegla poroznost u zavaru, preporučuje se predgrijavanje na kojih 300°C Dodatni materijal legiran je otprilike sa 1,1% srebra.

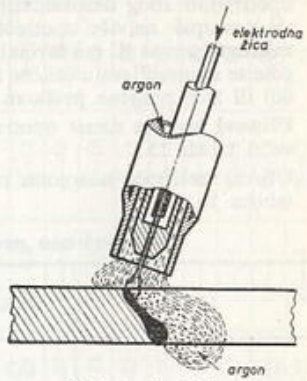
24.155.2 MIG je internacionalna kratica od **M**etal **I**nert **G**as za elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom plinova.

Skraćenica MIG je zadržana i kad upotrebljavamo aktivne plinove (CO_2 i mješavine) te različite vrste žica (gole i s jezgrom) jer bi se moralo izmisliti i odviše mnogo kombinacija za skraćenice, a teško bi potpuno zadovoljile. Uz oznaku MIG potrebno je navesti vrstu plina i žice.

Pri tom postupku ㉖ elektro-motor gura elektrodnu žicu kroz pištolj za zavarivanje do mjesta zavara. Električni luk uspostavlja se dodirom između elektrodne žice i materijala koji zavarujemo i održava se, pri čemu tali osnovni i dodatni metal. Rastaljeni dodatni metal prenosi se u velikim ili sitnim kapima, putem kratkih spojeva ili kroz električni luk, na mjesto zavara. Električni luk i rastaljeni metal nalaze se u atmosferi zaštitnog plina. Zavarivanje se uglavnom izvodi istosmjernom strujom, pri čemu je elektroda obično na plus-polu (brže taljenje i čišćenje oksida kod aluminija, magnezija i njihovih legura).

Taj se postupak u posljednje vrijeme veoma razvio i može se primijeniti u više varijanti time što se mijenjaju zaštitni plinovi, žice i izvori struje, ovisno, o debljini i vrsti materijala koji se zavaruje ili navaruje. Prijenos dodatnog metala može se izvršiti kroz kratak (short-arc napon 12—21V), štrcajući (Spray-arc napon 22—25 V) i normalan (normal-arc, napon 26—35 V) luk.

Za zavarivanje tankih limova ili tankih na debele, te za navarivanje, provarivanje korijena zavara i za zavarivanje u prisilnim položajima upotrebljava se kratak, eventualno štrcajući električni luk uz primjenu tankih žica (promjera 0,6—0,8 — 1—1,6 mm).



㉖ Postupak MIG

Zaštitni plinovi pri postupku MIG Tablica 15.

Plin ili mješavina	Upotreba
Ar	svi metali
Ar + He	svi metali, specijalno Cu i Al legure
He	svi metali
Ar + (0,5—1)% O_2	Al
Ar + 1% O_2	visokolegirani čelici
Ar + (1—3)% O_2	legirani čelici
Ar + (1—5)% O_2	nelegirani i niskolegirani čelici
Ar + (1—3)% CL	Al legure
Ar + 0,2 N_2	Al legure
Ar + 6% H_2	Ni i Ni legure
Ar + (15—20)% N_2	Cu
N_2	Cu
CO_2	nelegirani čelici
CO_2 + (15—20)% O_2	nelegirani čelici
H_2O (vodena para)	nelegirani čelici
Ar + (3—7)% O_2 + (13—17)% CO_2	nelegirani i niskolegirani čelici

Veliku ulogu pri prijenosu metala kroz električni luk imaju izvori struje pa se i uvjeti u električnom luku znatno razlikuju, ovisno o tipu izvora struje.

Žice za zavarivanje postupkom MIG od onog su metala koji zavarujemo ili su obogaćene onim legirnim elementima koje gubimo prilikom zavarivanja te dodacima koje želimo upotrijebiti zbog dezoksidacije i boljeg prijenosa metala kroz električni luk. Danas se taj postupak najviše upotrebljava za zavarivanje lakih metala, nerđajućih čelika (pod zaštitom argona ili mješavina) te za zavarivanje konstruktivnih čelika pod zaštitom CO_2, gdje se upotrebljavaju čelične žice legirane manganom i silicijem (Željezara Jesenice VAC 60) ili žice punjene praškom (najčešće ⌀ 1,6—5 mm).

Plinovi koji se danas upotrebljavaju pri tom postupku za određene metale navedeni su u tabeli 15.

Utjecaj nečistoće u argonu pri zavarivanju raznih metala postupkom MIG prikazuje tablica 16.

Dopuštene nečistoće u argonu pri postupku MIG Tablica 16.

Metal	N_2 %	O_2 %	H_2 %	H_2O % para	Posljedice prekoračenja dopuštene granice
Al	0,2	1,0	0,010	0,20	nitridi; pore; loš izgled zavara
Al-Mg legure	0,2	0,2	0,008	0,20	nitridi; pore
Cu	15—20	0,2	0,008	—	pore
Nerđajući čelik	0,2	1,0	6,000	0,28	pore; oksidi
Niskougljični čelik	0,2	5,0	0,500		nitridi; pore

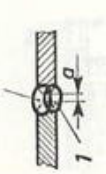
Za zavarivanje se upotrebljavaju poluautomatski i automatski uređaji uz potrebne naprave da bi samo zavarivanje bilo što ekonomičnije.

Postupak MIG Tablica 17.

Vrsta materijala	Debljina mm	Vrsta spoja	Otvor grla	⌀ dodatne žice mm	Argon l/min	Broj slojeva	Brzina zavarivanja m/min	Jačina struje A
Aluminij	4,5	I	0,5	1,6	18	1	0,6	230
	6	V 60°	—	1,6	18	1—2	0,6	240
	10	V 60°	—	1,6	20	3	0,5	250
	20	V 60°	—	1,6—2,4	20	4—6	0,3	300
	< 6	⊥	—	1,6	18	1	0,35—0,45	200—250
Bakar i njegove legure	6	V 60°	—	2,4	18	1	0,4	350—400
	6	V 60°	—	2,4	18	1—2	0,3	360—380
	10	V 60°	—	2,4	18	1—2	0,3	350—400
	12	V 60°	—	1,6	20	1	0,4	300
	20	V 60°	—	2,4	20	3—4	0,2	380—450
	< 6	⊥	—	1,6	20	1	0,25—0,40	280—320

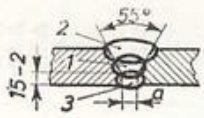
Kod bakra i njegovih legura potrebno je predgrijavanje otprilike na 500°C te žlijebljenje korijena i ponovno zavarivanje.

Poluautomatsko zavarivanje čelika pod zaštitom CO_2 Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla a mm	⌀ žice mm	Broj slojeva	Parametri zavarivanja: Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Položeno	1,0		$0^{+0,3}$	0,8	1	60	18—21	20—25	8—10	6— 7	
	1,5		$0^{+0,3}$	0,8	1	60— 70	18—21	20—25	8—10	6— 7	
					2	70— 80	18—21	20—25	8—10	6— 8	
	2		$0^{+0,3}$	0,8	1	75— 85	18—21	18—23	7— 9	6— 8	
					2	80— 90	18—21	18—23	7— 9	6— 9	
	3			1,0	1	80—100	19—21	20—25	8—10	7— 9	
			$0^{+1,3}$	1,0	1	120—140	20—22	20—24	8—10	8—10	
					2	130—150	20—23	17—22	8—10	8—10	
	4			1,2	1	130—150	21—23	21—25	9—11	8—10	
					2	140—160	22—24	20—23	9—11	8—10	
			$0^{+1,3}$	1,0	1	150—170	21—23	16—18	8—10	9—10	
					2	170—180	21—23	14—16	8—10	9—10	
	5			1,2	1	170—190	22—24	18—20	9—11	9—10	
					2	180—200	22—25	16—18	9—12	9—10	
			$0^{+1,5}$	1,0	1	150—170	20—23	12—14	8—10	10	
					2	170—180	20—23	14—16	8—10	10	
				1,2	1	180—200	21—23	14—16	9—11	10	
					2	190—210	22—24	15—17	9—11	10	
	6		$0^{+1,5}$	1,0	1	150—170	20—23	10—12	8—11	10	
					2	170—180	20—23	13—15	8—11	10	
				1,2	1	190—200	21—24	12—13	9—12	10	
					2	190—210	22—25	15—16	9—12	10	

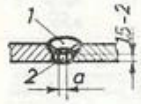
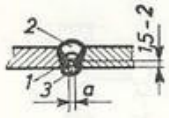
* Razumijeva se dužina kontaktne cijevčice do mjesta zavara.

(nastavak) Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla *a* mm	Parametri zavarivanja: ⌀ žice mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Položeno	8		$0^{+2,0}$	1,0	1	150—170	20—22	10—12	8—12	9	
					2	170—180	21—23	6— 9	8—12	10	
					3	170—180	21—23	11—13	8—12	10	
				1,2	1	190—200	22—24	12—14	9—13	9	
					2	200—210	23—25	10—12	9—13	10	
					3	200—210	23—25	12—14	9—13	10	
Vertikalno	1		$0^{+0,3}$	0,8	1	60	17—18	22—26	6	6— 7	
	1,5		$0^{+0,5}$	0,8	1	60	17—18	20—25	6— 7	7	
					2	70—80	18—19	21—26	6— 7	7	zavarivanje odozgo prema dolje
				1,0	1	80	18—19	22—25	7— 8	7	
					2	80—90	18—19	24—28	7— 8	7	
	2		$0^{+0,5}$	1,0	1	80—90	18—19	19—24	7— 8	7— 8	
					2	90—100	18—19	19—24	7— 8	7— 8	
				1,2	1	100—110	18—20	22—26	8— 9	7— 8	zavarivanje odozdo prema gore bez njihanja
					2	110—120	19—20	24—28	8— 9	7— 8	
	3		$0^{+1,0}$	1,0	1	95—105	19—20	19—24	7— 8	7— 8	
					2	110—120	19—20	19—24	7— 8	7— 8	
				1,2	1	110—120	18—20	22—25	8— 9	7— 8	zavarivanje odozgo prema dolje
					2	120—140	19—24	23—26	8— 9	7— 8	
	4		$0^{+1,5}$	1,0	1	100—110	19—20	14—15	7— 8	7— 8	zavarivanje odozdo prema gore s njihanjem
					2	115—125	19—20	14—15	7— 8	7— 8	
				1,2	1	115—125	19—20	15—16	8— 9	8— 9	
					2	140—150	19—20	16—17	8— 9	8— 9	

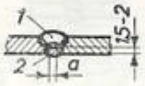
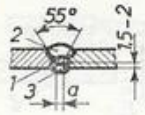
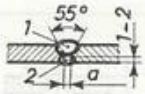
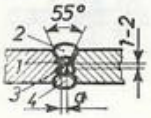
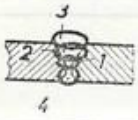
* Razumijeva se dužina žice od kontaktne cjevčice do mjesta zavara.

(nastavak) Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla *a* mm	Parametri zavarivanja: ⌀ žice mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Vertikalno	5		$0^{+2,0}$	1,0	1	100—110	19—20	13—15	8— 9	8— 9	
					2	120—130	19—20	13—15	8— 9	8— 9	
				1,2	1	120—130	19—20	14—16	9—10	8— 9	
					2	140—150	19—20	14—16	9—10	8— 9	
	6		$0^{+0,5}$	1,0	1	95—105	19—20	6— 8	8— 9	9—10	
					2	95—105	19—20	12—14	8— 9	9—10	
				1,2	1	115—125	19—20	8—10	9—10	10	
					2	130—140	19—20	14—16	9—10	10	
	8		$0^{+1,0}$	1,0	1	125—135	19—20	10—12	8— 9	9—10	
					2	140—160	19—20	7— 9	8— 9	10	
					3	140—160	19—20	10—12	8— 9	10	zavarivanje odozdo prema gore s njihanjem
				1,2	1	140—150	19—20	13—15	9—11	9—10	
					2	170—180	19—21	10—11	9—11	10	
					3	170—180	19—21	12—14	9—11	10	
	2		$0^{+0,5}$	1,0	1	70— 80	17—18	17—19	7— 8	6 —7	
					2	70— 80	17—18	17—19	7— 8	6— 7	
				1,2	1	80— 90	18—19	19—21	8—10	6— 8	
					2	80— 90	18—19	19—21	8—10	6— 8	
	3		0^{+1}	1,0	1	75— 85	18—19	15—17	7— 8	6— 8	
					2	85— 95	18—19	15—17	7— 8	6— 8	
				1,2	1	100—110	19—20	18—20	9—11	7— 9	
					2	110—120	19—20	17—19	9—11	7— 9	

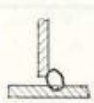
* Razumijeva se dužina žice od kontaktne cjevčice do mjesta zavara.

(nastavak) Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla a mm	Parametri zavarivanja: ⌀ žice mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Horizontalno	5		$0^{+1,5}$	1,0	1	100—110	18—19	10—12	8— 9	8— 9	
					2	110—120	18—19	12—14	8— 9	8—10	
				1,2	1	120—130	19—21	12—14	9—11	8—10	
					2	140—150	19—21	16—18	9—11	8—10	
	8		0^{+2}	1,0	1	110—120	19—20	14—16	8— 9	8— 9	
					2	140—150	19—21	7— 9	8— 9	10	
					3	140—160	19—21	12—14	8— 9	10	
				1,2	1	140—150	19—21	16—18	8—11	10	
					2	160—180	20—22	10—12	9—11	10	
					3	160—180	20—22	14—16	9—11	10	
Položeno i nadglavno	6		$0^{+1,5}$	1,0	1	90—110	18—19	12—14	7— 8	8— 9	
				1,2	2	110—140	18—20	15—17	8—10	8—10	
	12		0^{+2}	1,0	3	120—140	18—19	10—12	7— 9	10	
					4	120—140	18—19	6— 8	7— 9	10	parametri dani samo za nadglavni položaj
				1,2	3	140—160	19—20	12—14	8—10	10	
					4	140—160	19—20	8— 9	8—10	10	
				1,0	4	120—140	18—19	8— 9	7— 9	10	
				1,2	4	140—160	19—20	11—12	8—10	10	

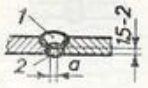
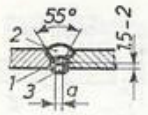
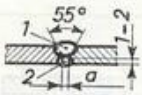
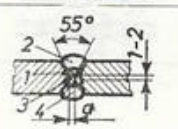
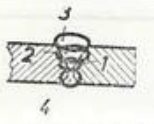
* Razumijeva se dužina žice od kontaktne cjevčice do mjesta zavara.

(nastavak) Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla a mm	Parametri zavarivanja: ⌀ žice mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Položeno	1			0,8	2	60— 70	18—19	22—24	6— 7	6	
	2			1,0	2	80— 90	19—20	20—22	7— 9	6	
				1,2	2	110—120	19—21	24—26	8—10	6	
	3			1,0	1	90—100	19—20	18—20	7— 9	7	
				1,2	1	120—140	20—22	22—24	9—11	7	
	4			1,0	1	120—140	19—21	16—18	7— 9	7— 8	
				1,2	1	160—180	21—23	20—24	9—11	7— 8	
				1,6	1	180—200	26—28	26—28	14—16	8	
	5			1,0	1	140—160	20—22	14—16	7— 9	8	
				1,2	1	180—200	22—24	18—22	9—11	8	
				1,6	1	220—260	28—30	24—26	14—16	8— 9	
Vertikalno	1			0,8	1	60— 70	17—18	22—24	6— 7	6— 7	
	2			1,0	1	80— 90	18—19	22—24	7— 8	7— 8	
				1,2	1	110—120	19—20	23—25	8— 9	7— 8	
	3			1,0	1	90—110	18—20	20—22	7— 8	7— 8	zavarivanje odozgo prema dolje
				1,2	1	120—140	19—21	22—24	8— 9	8	
	4			1,0	1	100—120	18—20	16—18	7— 8	8— 9	
				1,2	1	120—140	19—21	18—20	8— 9	8— 9	
				1,0	1	110—120	18—20	13—15	7— 8	8— 9	
				1,2	1	130—150	19—21	15—16	8— 9	8— 9	
	5			1,0	1	120—130	19—21	11—13	7— 8	9	zavarivanje odozdo prema gore
				1,2	1	140—170	20—22	13—15	8—10	9	

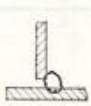
* Razumijeva se dužina žice od kontaktne cjevčice do mjesta zavara.

(nastavak) Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla a mm	Parametri zavarivanja: ø žice mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Horizontalno	5		$0^{+1,5}$	1,0	1	100—110	18—19	10—12	8— 9	8— 9	
					2	110—120	18—19	12—14	8— 9	8—10	
				1,2	1	120—130	19—21	12—14	9—11	8—10	
					2	140—150	19—21	16—18	9—11	8—10	
	8		0^{+2}	1,0	1	110—120	19—20	14—16	8— 9	8— 9	
					2	140—150	19—21	7— 9	8— 9	10	
					3	140—160	19—21	12—14	8— 9	10	
				1,2	1	140—150	19—21	16—18	8—11	10	
					2	160—180	20—22	10—12	9—11	10	
					3	160—180	20—22	14—16	9—11	10	
Položeno i nadglavno	6		$0^{+1,5}$	1,0	1	90—110	18—19	12—14	7— 8	8— 9	
				1,2	2	110—140	18—20	15—17	8—10	8—10	
	12		0^{+2}	1,0	3	120—140	18—19	10—12	7— 9	10	
					4	120—140	18—19	6— 8	7— 9	10	parametri dani samo za nadglavni položaj
				1,2	3	140—160	19—20	12—14	8—10	10	
					4	140—160	19—20	8— 9	8—10	10	
				1,0	4	120—140	18—19	8— 9	7— 9	10	
				1,2	4	140—160	19—20	11—12	8—10	10	

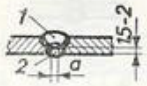
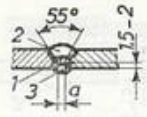
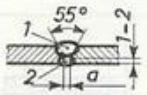
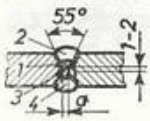
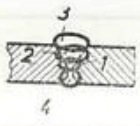
* Razumijeva se dužina žice od kontaktne cjevčice do mjesta zavara.

(nastavak) Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla a mm	Parametri zavarivanja: ø žice mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Položeno	1			0,8	2	60— 70	18—19	22—24	6— 7	6	
	2			1,0	2	80— 90	19—20	20—22	7— 9	6	
				1,2	2	110—120	19—21	24—26	8—10	6	
	3			1,0	1	90—100	19—20	18—20	7— 9	7	
				1,2	1	120—140	20—22	22—24	9—11	7	
	4			1,0	1	120—140	19—21	16—18	7— 9	7— 8	
				1,2	1	160—180	21—23	20—24	9—11	7— 8	
				1,6	1	180—200	26—28	26—28	14—16	8	
	5			1,0	1	140—160	20—22	14—16	7— 9	8	
				1,2	1	180—200	22—24	18—22	9—11	8	
				1,6	1	220—260	28—30	24—26	14—16	8— 9	
Vertikalno	1			0,8	1	60— 70	17—18	22—24	6— 7	6— 7	
	2			1,0	1	80— 90	18—19	22—24	7— 8	7— 8	
				1,2	1	110—120	19—20	23—25	8— 9	7— 8	
	3			1,0	1	90—110	18—20	20—22	7— 8	7— 8	zavarivanje odozgo prema dolje
				1,2	1	120—140	19—21	22—24	8— 9	8	
	4			1,0	1	100—120	18—20	16—18	7— 8	8— 9	
				1,2	1	120—140	19—21	18—20	8— 9	8— 9	
				1,0	1	110—120	18—20	13—15	7— 8	8— 9	
				1,2	1	130—150	19—21	15—16	8— 9	8— 9	
	5			1,0	1	120—130	19—21	11—13	7— 8	9	zavarivanje odozdo prema gore
				1,2	1	140—170	20—22	13—15	8—10	9	

* Razumijeva se dužina žice od kontaktne cjevčice do mjesta zavara.

(nastavak) Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla a mm	Parametri zavarivanja: Ø žice mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Horizontalno	5		$0^{+1,5}$	1,0	1	100—110	18—19	10—12	8— 9	8— 9	
					2	110—120	18—19	12—14	8— 9	8—10	
				1,2	1	120—130	19—21	12—14	9—11	8—10	
					2	140—150	19—21	16—18	9—11	8—10	
	8		0^{+2}	1,0	1	110—120	19—20	14—16	8— 9	8— 9	
					2	140—150	19—21	7— 9	8— 9	10	
					3	140—160	19—21	12—14	8— 9	10	
				1,2	1	140—150	19—21	16—18	8—11	10	
					2	160—180	20—22	10—12	9—11	10	
					3	160—180	20—22	14—16	9—11	10	
Položeno i nadglavno	6		$0^{+1,5}$	1,0	1	90—110	18—19	12—14	7— 8	8— 9	
				1,2	2	110—140	18—20	15—17	8—10	8—10	
	12		0^{+2}	1,0	3	120—140	18—19	10—12	7— 9	10	
					4	120—140	18—19	6— 8	7— 9	10	parametri dani samo za nadglavni položaj
				1,2	3	140—160	19—20	12—14	8—10	10	
					4	140—160	19—20	8— 9	8—10	10	
				1,0	4	120—140	18—19	8— 9	7— 9	10	
				1,2	4	140—160	19—20	11—12	8—10	10	

* Razumijeva se dužina žice od kontaktne cjevčice do mjesta zavara.

(nastavak) Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla a mm	Parametri zavarivanja: Ø žice mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Položeno	1			0,8	2	60— 70	18—19	22—24	6— 7	6	
	2			1,0	2	80— 90	19—20	20—22	7— 9	6	
				1,2	2	110—120	19—21	24—26	8—10	6	
	3			1,0	1	90—100	19—20	18—20	7— 9	7	
				1,2	1	120—140	20—22	22—24	9—11	7	
	4			1,0	1	120—140	19—21	16—18	7— 9	7— 8	
				1,2	1	160—180	21—23	20—24	9—11	7— 8	
				1,6	1	180—200	26—28	26—28	14—16	8	
	5			1,0	1	140—160	20—22	14—16	7— 9	8	
				1,2	1	180—200	22—24	18—22	9—11	8	
				1,6	1	220—260	28—30	24—26	14—16	8— 9	
Vertikalno	1			0,8	1	60— 70	17—18	22—24	6— 7	6— 7	
	2			1,0	1	80— 90	18—19	22—24	7— 8	7— 8	
				1,2	1	110—120	19—20	23—25	8— 9	7— 8	
	3			1,0	1	90—110	18—20	20—22	7— 8	7— 8	zavarivanje odozgo prema dolje
				1,2	1	120—140	19—21	22—24	8— 9	8	
	4			1,0	1	100—120	18—20	16—18	7— 8	8— 9	
				1,2	1	120—140	19—21	18—20	8— 9	8— 9	
				1,0	1	110—120	18—20	13—15	7— 8	8— 9	
				1,2	1	130—150	19—21	15—16	8— 9	8— 9	
	5			1,0	1	120—130	19—21	11—13	7— 8	9	zavarivanje odozdo prema gore
				1,2	1	140—170	20—22	13—15	8—10	9	

* Razumijeva se dužina žice od kontaktne cjevčice do mjesta zavara.

(nastavak) Tablica 18.

Položaj zavarivanja	Debljina lima mm	Skica spoja	Otvor grla *a* mm	Parametri zavarivanja: Ø žice mm	Broj slojeva	Jačina struje A	Napon električnog luka V	Brzina zavarivanja m/sat	Dužina žice* mm	Potrošak CO_2 lit/min	Primjedba
Nadglavno	4			1,0	1	90—100	18—19	14—16	7— 8	8— 9	
				1,2	1	120—130	19—21	16—18	8—10	8— 9	
	5			1,0	1	110—130	18—20	9—10	8— 9	9	
				1,2	1	130—140	19—21	10—13	9—11	9	
	6			1,0	1	120—140	18—21	7— 8	8— 9	10	
				1,2	1	140—160	19—21	8—10	9—11	10	
	7			1,0	1	130—150	18—21	6— 7	8—10	10	
				1,2	1	150—170	19—21	7— 9	9—11	10	

* Razumijeva se dužina žice od kontaktne cjevčice do mjesta zavara.

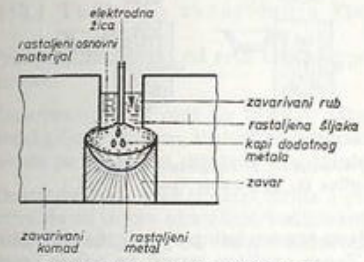
24.156 Elektro-zavarivanje pod šljakom ㉗ primjenjuje se za zavarivanje debljih limova u vertikalnom položaju. Iznad taline metala u sučelju limova pliva rastaljena šljaka, koju bakreni klizači, hlađeni vodom, zajedno s metalom pridržavaju da ne isteče. Elektrodna žica dovodi se vodilicama u rastaljenu šljaku te se ondje zbog prolaska jake struje i visoke temperature šljake tali i taloži u sučelju. Sama šljaka zagrijana je na temperaturu veću od tališta metala pa tako tali i osnovni metal.

S obzirom na vrstu elektroda imamo tri glavna tipa zavarivanja pod šljakom ㉘:

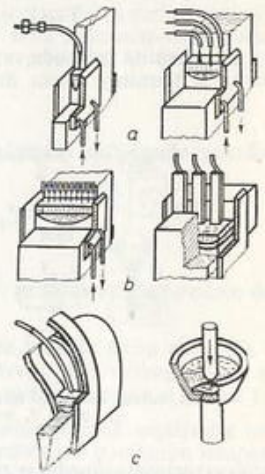
1 — zavarivanje kontinuiranim elektrodnim žicama (a)

2 — zavarivanje elektrodama većeg presjeka (šipke) (b)

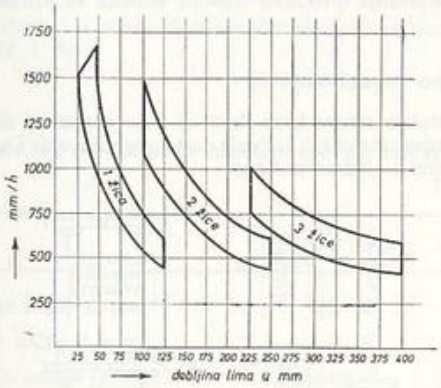
3 — zavarivanje žicama uz taljenje i vodilice elektrodne žice. (c)



㉗ Elektrozavarivanje pod šljakom



㉘ Osnovni tipovi elektro-zavarivanja pod šljakom



㉙ Dijagram brzine zavarivanja

24.157 Aluminotermijsko zavarivanje ㉚

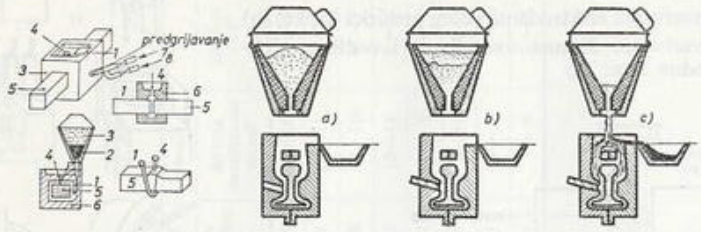
Komade koje spajamo zagrijavamo pri tom postupku zavarivanja toplinom što smo je dobili akcijom izgaranja termita. Termit je smjesa praha Al i Fe_3O_4 (1/4 Al + 3/4 Fe_3O_4). Stavimo ga u poseban lonac, a toplinu zapaljenja dobivamo od izgaranja barijeva superoksida i aluminija ili smjesom finog Al i Mg praška, koje možemo lako zapaliti. Prilikom izgaranja termita Al oduzima kisik iz Fe_3O_4, pri čemu se oslobađa željezo, koje služi kao

dodatni materijal. Izgaranjem se oslobađa znatna količina topline tako da temperatura taline iznosi oko 2 500°C, a to je dovoljno da se rastale ivice komada koji zavarujemo. Fe se iz termita oslobađa po ovoj kemijskoj reakciji:

$$3\,Fe_3O_4 + 8\,Al = 4\,Al_2O_3 + 9\,Fe + 726\ kcal$$

$$Fe_2O_4 + 2\,Al = Al_2O_3 + 2\,Fe + 183\ kcal.$$

Od 1 kg termita oslobađa se oko 0,5 kg rastaljenog željeza. Dodavanjem legirajućih dodataka u termitnu masu dobivamo željeni sastav rastaljenog spoja.



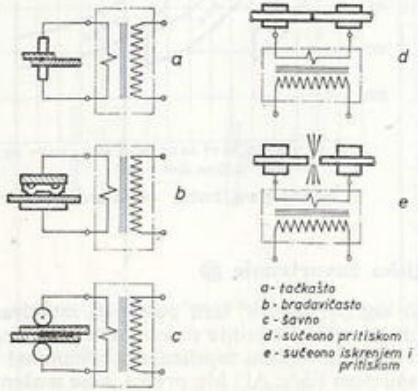
⑩ Aluminotermijsko zavarivanje

1. ulivni kanal; 2. termitni čelik; 3. šljaka; 4. odušak; 5. zavarivani komad; 6. kalup; 7. dovod zraka; 8. dovod plina (a, b, c radne faze)

Samo zavarivanje obavlja se tako da se spojna mjesta stave u kalup i predgrijavaju (plinom ili benzinom) na temperaturu od kojih 900°C. Zatim upalimo termit pa nakon izvršene reakcije lijevamo čelik u pripremljeni kalup. Rastaljeni metal ulazi u pripremljeni spoj, tali predgrijane krajeve komada i spaja ih u jednu cjelinu. Drugi način je spajanje pritiskom, tj. nakon zagrijavanja ulivenom masom komadi se pritiskom spoje u jednu cjelinu.

24.158 Elektrootporno zavarivanje ⑪

Sprovodimo li električnu struju kroz dijelove koje spajamo, zbog velikog električnog otpora na dodirnim mjestima obaju komada nastaje zagrijavanje i taljenje spojnih površina, koje pritiskom vežemo u jednu cjelinu.



⑪ Osnovni postupci elektrootpornog zavarivanja

Kao izvori struje za to zavarivanje služe transformatori spojeni primarnim namotajem na gradsku mrežu (280/380 V) tako da na sekundaru dobivamo napone od 1 do 15 V i struje od nekoliko ampera do nekoliko stotina hiljada ampera. Ovisno o debljini ili presjeku materijala koje želimo spojiti, odabiru se veličine struje i napona, kao i ostali parametri potrebni za zavarivanje (vrijeme zavarivanja, sila pritiska i vrijeme djelovanja). Taj postupak zavarivanja je vrlo brz i daje kvalitetne spojeve pa bi ga trebalo primijeniti u mnogim slučajevima serijske proizvodnje. Imamo više vrsta elektrootpornog zavarivanja, npr. točkasto, bradavičasto, šavno, čeono zavarivanje pritiskom te čeono zavarivanje pritiskom i iskrenjem.

Tim postupkom mogu se zavarivati različiti metali.

Uvjet za kvalitetu spojeva jest čistoća komada koje spajamo i nalijeganje površine.

24.158.1 Točkasto zavarivanje ⑪a

Primjenjuje se više od svih elektrootpornih zavarivanja, i to za tanke i za srednje debele limove.

Zavarivanje se izvodi na preklop tako da struja protječe između dviju elektroda kroz preklopljene limove, koji se na međusobnom mjestu dodira uslijed velikog otpora zagrijavaju pa se, pošto prestane djelovanje struje, pritiskom elektroda spoje u obliku točke.

Elektrode kroz koje prolazi struja i preko kojih se ostvaruje pritisak zagrijanog metala treba da su dobre električne vodljivosti i odgovarajuće tvrdoće pri povišenim temperaturama. Izrađuju se od legure elektrolitskog bakra, kroma, srebra, kadmija i volframa.

Pri zavarivanju strojem manjeg učinka vrijeme zavarivanja je od 1 do 2 sekunde, što ne djeluje povoljno na trajnost elektroda. Kod visokoučinskih strojeva (1/10 s) to je vrijeme razmjerno kratko pa je i trajnost elektroda nekoliko puta veća.

Elektrode se hlade vodom. Da bismo dobili kvalitetne spojeve, potrebno je održati uvjete navedene u tablici 19. i 20.

Parametri za točkasto elektrootporno zavarivanje

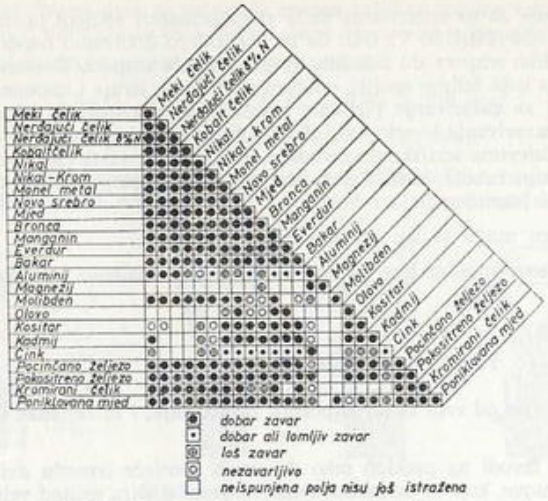
Tablica 19.

	Meki čelik	Al-Mg-Si
Promjer točke d mm	4 S	3 S–4 S
Presjek točke A mm²	4 S	2,3 S–4 S
Gustoća struje j A/mm²	$450/\sqrt{S}$	$2\,000/\sqrt{S}$
Sila pritiska – Elektroda F kp	7 A	12 A
Vrijeme zavarivanja t perioda	10	8–10

S = debljina lima u mm

1 perioda = 1/50 s.

⑫ prikazuje, prema Fergusonu, zavarljivost različitih materijala točkastim zavarivanjem.



Zavarljivost različitih materijala prema Fergusonu

Točkasto elektrootporno zavarivanje Tablica 20.

Materijal	Debljina lima mm	Jačina struje A	Vrijeme zavarivanja perioda	Sila pritiska kp	Promjer zavarene točke mm
Meki čelik	0,5	6 000	5	100	3,5
	1	9 000	8	200	5
	1,5	12 000	12	330	6,5
	2	14 000	14	450	7,5
	2,5	16 000	16	500	8
	3	18 500	20	600	8,5
Nerđajući čelik	0,5	3 200	3	140	2,5
	1	7 000	6	350	4,6
	1,5	9 000	8	450	5,6
	2	12 000	12	800	7
	3	16 000	16	1 400	8,5
Aluminij	0,5	18 000	4	140	3
	1	28 000	7	240	4,5
	1,5	34 000	12	350	6
	2	42 000	14	400	7
	3	63 000	15	650	9

24.158.2 Bradavičasto zavarivanje ⓘ b

Taj način zavarivanja vrlo je srodan točkastom zavarivanju, a izvodi se tako da se na jednom od komada koje spajamo izvuku bradavice potrebne da bi se na njima ostvarilo zagrijavanje. Komade koje spajamo pločastim elektrodama pritisnemo te nakon zagrijavanja ostvarujemo spojeve na mjestu bradavice.

Bradavičasto elektrootporno zavarivanje Tablica 21.

Debljina lima mm	∅ bradavice mm	Visina bradavice mm	Sila pritiska po bradavici kp	Jačina struje po bradavici A	Vrijeme zavarivanja u periodama 1/50 s
0,5	2	0,5	60	5 000	4
1	3	0,7	120	6 500	8
1,5	3,5	0,85	180	7 500	13
2	4	1	240	8 500	17
2,5	4,5	1,2	300	10 000	22
3	5,9	1,25	360	11 500	28

24.158.3 Šavno zavarivanje ⓘ c

Zavarujemo li točku do točke, dobijemo jedan šav. Ako pak umjesto elektroda za točkasto zavarivanje stavimo pokretne točkove i puštamo struju u impulsima, dobit ćemo nepropusne spojeve. To zavarivanje ograničeno je na tanje limove (do 3 mm), a najčešće se izvodi u preklopnom spoju.

Šavno elektrootporno zavarivanje Tablica 22.

Materijal	Debljina lima s mm	Sila pritiska kp	Jačina struje A	Vrijeme zavarivanja: impuls periode	Vrijeme zavarivanja: stanke periode	Brzina zavarivanja m/min
Za niskougljični nelegirani čelični lim	0,5	250	10 600	2	2	1,9
	0,8	340	13 000	3	2	1,8
	1	400	15 000	3	3	1,7
	1,5	525	17 500	4	4	1,6
	2	675	19 400	6	5	1,4
	2,5	800	20 400	7	6	1,3
	3	950	22 000	11	8	1,1
Za nerđajuće čelične limove	0,5	330	8 250	1	2	1,4
	0,8	400	12 000	2	3	1,3
	1	580	12 800	3	3	1,2
	2	810	15 100	3	4	1,1
	2,5	1 000	16 500	4	5	1
Za aluminijske limove	0,5	260	23 600	1	1	1,25
	0,8	330	28 600	1	3	1
	1	380	32 000	2	3	0,90
	1,5	430	36 000	2	4	0,75
	2	480	42 000	3	5	0,60

24.158.4 Čeono zavarivanje pritiskom ⓘ d, e

Izvodi se tako da komade koje zavarujemo (šipke, profile, cijevi) dovedemo čeono u dodir, gdje prolaskom struje dolazi do zagrijavanja, a pritiskom i do spajanja. To zavarivanje može se izvesti kao čeono zavarivanje pritiskom ili čeono zavarivanje iskrenjem i pritis-

kom. Razlika je u tome što pri iskrenju komade pod djelovanjem struje dovedemo u dodir, odmaknemo i primaknemo nekoliko puta. Pri tome nastaje iskrenje zbog taljenja metala stvaranjem malih elektrolučnih lukova po neravnoj površini presjeka.

Čeono zavarivanje pritiskom primjenjuje se za zavarivanje raznih presjeka do 200 cm². Čeono pak zavarivanje iskrenjem i pritiskom primjenjuje se za zavarivanje raznih čeličnih profila presjeka do 500 cm² i bakra do 20 cm² zatim za zavarivanje raznih alata od alatnih i legiranih čelika i teških profila.

Čeonim zavarivanjem mogu se zavarivati čelici, kovkasti liv, vučeni i valjani bakar, mjed, bronca, aluminij i njegove legure.

24.16 ZAVARIVANJE RAZNIH METALA

24.161 Zavarivanje čelika

O zavarljivosti čelika govorili smo u poglavlju 24.12, dok su ovdje navedene smjernice o zavarivanju pojedinih vrsta čelika. Izbor postupka zavarivanja vidi se u tabeli 1. pa ovdje nećemo o tome govoriti.

24.161.3 Visokolegirani čelici

24.161.31 *Nerdajući krom-čelici*

Sadržaj kroma 12—17%.

Ti čelici se slabo zavaruju. Ako ih zavarujemo, potrebno je predgrijanje na 400—500°C. Čini li naponsko odžarivanje poteškoće, uglavnom se izostavlja. Moguće je zavarivati ih i bez predgrijavanja bazičnim austenitnim elektrodama, tipa 18% Cr, 8% Ni (18/8) ili 18%, Cr 8% Ni i 1,5—3% Mo ili 25% Cr, 20% Ni.

24.161.32 *Austenitni krom-nikal-čelici*

12—25% Cr, 8—25% Ni. Pod tim čelicima razumijevamo stabilizirane ili nestabilizirane i nemagnetske krom-nikal ili krom-nikal-molibden-čelike. Općenito su dobro zavarljivi. Zavaruju se elektrodama veoma niskog sadržaja ugljika ili stabiliziranim elektrodama iste vrste. Pri tome treba raditi s najmanje mogućim promjerima elektroda i paziti na brzo hlađenje.

Kako naknadna termička obrada zadaje poteškoće, uglavnom se ne provodi. Ona je, međutim, neophodna ako se čelik jako deformira savijanjem ili dubokim vučenjem. Ti čelici upotrebljavaju se kao čelici otporni na kiseline i lužine i kao vatrootporni čelici za temperature do 900°C.

Da bi se spriječile strukturne promjene i interkristalna korozija pri zavarivanju ili u upotrebi, moraju se stabilizirati. Kao elementi za stabilizaciju najčešće se primjenjuju niobij (Nb), tantal (Ta), titan (Ti) i kolumbij (Cb).

Interkristalna korozija može se spriječiti i tako da sadržaj ugljika u limu i elektrodi bude ispod 0,03%.

24.161.4 Čelici za upotrebu pri povišenoj temperaturi

Tu razumijevamo općenito nisko legirane krom-molibden-čelike koji sadržavaju do 5% Cr i 1,2% Mo. Oni mogu sadržavati i druge legirne elemente kao što su nikal, vanadij i volfram. Osim ovih upotrebljavaju se kao niskolegirani čelici za upotrebu pri povišenim temperaturama tako zvani molibdenski čelici, koji ne sadržavaju krom.

Čelici za rad na povišenim temperaturama upotrebljavaju se za pogonske temperature do 600°C, a zavaruju se bazičnim elektrodama, sastava ovisno o tipu čelika. Pri zavarivanju je prijelazna zona osjetljiva na zakaljivanje pa je potrebno predgrijavanje na temperature od 200 do 350°C, a preporučuje se i napetosno odžarivanje (650—700°C), koje je pri većim debljinama materijala neophodno.

Tablica 23.

24.161.1 *Ugljični čelici*

	% C	Čvrstoća kp/mm²	Produženje %	Žilavost V zarez kpm/cm²	Odgovarajući tip elektrode	Predgrijavanje	Odžarivanje	Primjedba
Vrlo meki čelici	0,05—0,1	34—42	25	—	O, A, R C, B	ne treba	—	kod čelika sa negarant. kemijskim sast. i meh. osob. negar. zavar
Meki čelici	0,1—0,25	37—50	20—30	8—15	A, R, B	ne treba	600—630° C kod većih dinamičkih opterećenja i debljine zavara	
Polutvrdi čelici	0,1—0,2 plus legirni dodaci	50—65	18—30	8—15	B	ne treba	—	
	0,2—0,35	50—65	18—30	8—15	B	150—200°C iznad 6 mm debljine	—	
Tvrdi čelici	0,35—0,7	60—80 pobolj. do 150	12—17	niska	B	najmanje 200 °C	630—650° C	Kad termička obrada nije moguća, treba upotrijebiti Cr-Ni i Cr-Ni-Mo elektrode da dobijemo austenitni zavar

Tablica 24.

24.161.2 Niskolegirani čelici

	%C	% Mn	% Si	Čvrstoća kp/mm²	Produženje kpm/cm²	Odgovarajući tip elektrode	Predgrijavanje	Primjedbe
Čelici za cementiranje	0,06—0,18	0,3—0,6	0,35	38—42	23—30	B	—	
Čelici za poboljšavanje	0,25—0,65	0,3—1,5	0,15—0,35	55—130	10—20	B	200—300 °C	Poslije zavarivanja treba zavarene dijelove normalizirati ili poboljšati

24.161.5 Alatni čelici

Zavarivanje se predviđa samo u reparaturne svrhe, i to u izuzetnim slučajevima jer je skupo i ne garantira kvalitetu. Međutim, često nas na to prisiljavaju prilike.

Pri zavarivanju se obično obavlja meko žarenje alata na temperaturi od 700 do 850°C, ovisno o vrsti čelika, zatim zavarivanje alata na temperaturi od kojih 600°C te nakon zavarivanja polagano hlađenje, najbolje u peći. Nakon obrade zavarenih mjesta izvodi se naknadna termička obrada (kaljenje i otpuštanje). Pri tom zavarivanju treba da je dodatni materijal istog sastava kao i osnovni.

24.161.6 Tvrdi manganski čelici

Austenitni tvrdi manganski čelici približnog su sastava: 1—1,4% C i 10—16% Mn. Zavarljivost je vrlo problematična zbog izlučivanja karbida i stvaranja ferita, koji nastaje pri skrućivanju zavara, kao i pri lošoj toplinskoj vodljivosti. Najbolji rezultati postižu se »hladnim« zavarivanjem i što bržim hlađenjem zavara (vodom). Zavarivanje se izvodi gotovo isključivo elektrodama Cr-Ni ili Cr-Ni-Mn. Radi uštede često se samo stranice žlijeba pokriju austenitnim elektrodama, a ostatak se završava čeličnim bazičnim elektrodama veće čvrstoće.

Tvrdo navarivanje otporno na habanje izvodi se prema željenoj tvrdoći i žilavosti navara austenitnim elektrodama Cr-Ni (18/8 ili 25/20), elektrodama Cr-Ni-Mn i elektrodama s visokim sadržajem C ili elektrodama sa 13% Cr. Da bi se smanjile opasne napetosti, nanose se navari dužine oko 5 cm uz hlađenje.

Austenitni navar izveden elektrodom Cr-Ni otvrđuje se na hladno, tj. željena tvrdoća postiže se pošto je elektroda stanovito vrijeme u upotrebi.

24.162 Čelični i sivi liv

24.162.1 Nelegirani čelični liv

Obično se podvrgava normalizacijskom žarenju i ima finu ljevačku strukturu. Normalno je dobro zavarljiv čeličnim bazičnim elektrodama odgovarajuće čvrstoće. Kako su to obično komadi velikih dimenzija, mora se zbog smanjenja brzine hlađenja predgrijati, ovisno o debljini stijenke i sadržaju ugljika na temperaturu 150—250°C. Pri kompliciranim zavarenim konstrukcijama i kod čeličnih livova veće čvrstoće potrebno je napetosno odžarivanje pri temperaturi od 600 do 650°C.

24.162.2 Legirani čelični liv

Normalizira se žarenjem u livnici. Njegova zavarljivost slična je onoj kod legiranih čelika s kojima se uspoređuje. Zavaruje se prema sastavu odgovarajućim bazičnim čeličnim elektrodama. Ovisno o sastavu, neophodno je predgrijavanje na 150—350°C. Poželjno je napetosno odžarivanje pri 650—700°C, kojim se smanjuju nastale napetosti pri zavarivanju, ali tvrde zone u zavaru većinom ostaju.

24.162.3 Zavarivanje sivog liva

Zavarivanje se uglavnom izvodi samo u reparaturne svrhe. Glavnu poteškoću čini njegova krhkost. Stoga treba poduzeti potrebne smjere da bi se izbjeglo pretjerano skupljanje, zbog čega bi se mogle stvarati pukotine. Danas se uglavnom primjenjuje zavarivanje za toplo, polutoplo i na hladno.

24.162.31 *Zavarivanje na toplo*

Sastoji se u tome da komad koji želimo zavariti predgrijemo na temperaturi od 600 do 700°C.

Brzina predgrijavanja, kao i hlađenja nakon zavarivanja ovisi o kompliciranosti oblika i o veličini komada. U nepovoljnim slučajevima iznosi otprilike 30°C po satu. Samo zavarivanje izvodi se plinski ili elektrolučno. Kao dodatni materijal upotrebljavaju se

šipke od sivog liva; dezoksidant je obično natrijev karbonat (Na_2CO_3) — soda. Zavarivanje se mora izvršiti bez prekidanja jer svaki prekid može dovesti do nastanka pukotina. To je i najbolji način zavarivanja sivog liva ako se može provesti jer daje homogen i lako obradiv spoj.

24.162.32 *Zavarivanje na polutoplo*

Primjenjuje se kad veće predgrijavanje nije moguće ili se bilo iz kog razloga ne preporučuje. Temperatura predgrijanja pri tom postupku je oko 300°C. Samo zavarivanje je elektrolučno, a provodi se elektrodama od Ni, Fe-Ni, monela, kao i bazičnim elektrodama od mekog čelika. Polažu se zavari dužine 30—50 mm i odmah raskivaju da bi se smanjilo naprezanje, tj. zbog opasnosti od pucanja.

24.162.33 *Zavarivanje na hladno*

Izvodi se onda kad predgrijavanje nije moguće ili je suviše skupo. Zavarivanje je elektrolučno, a elektrode su obično od Ni, monela i Fe-Ni ili su to specijalne elektrode za zavarivanje sivog liva. Zavarivanje se izvodi kratkim zavarima od 10 do 30 mm uz neposredno iskivanje nakon zavarivanja. Slijedeći zavar polaže se tek onda kad su se prelazna zona i sam položeni zavar ohladili na kojih 60°C. Ponekad se zbog uštede skupih elektroda izvodi kombinirano zavarivanje, time da se uz sivi liv nanose navedene elektrode, a ostatak se može izvesti austenitnim ili mekim čeličnim elektrodama.

Općenito treba pri zavarivanju sivog liva tim postupcima posebnu pažnju posvetiti pripremi. Prije svega treba lokalizirati pukotinu bušenjem rupa na njenim krajevima, a zatim valja izvršiti žlijebljenje po dužini pukotine u obliku U-spoja. Žlijebljenje se može izvesti brušenjem ili, bolje, specijalnim elektrodama za žlijebljenje.

Zavarivanje sivog liva je problem koji treba posebno razmotriti, uzevši pri tome u obzir kemijski sastav materijala, izgled elementa i uvjete u kojima je radio u eksploataciji.

Često se elektrolučno zavareni spojevi u svrhu nepropusnosti po površini s korijena i lica prevuku tankim slojem mekog lema.

24.162.4 Temper-liv (kovkast liv)

Temper-liv se uglavnom zavaruje bazičnim čeličnim, Ni ili Fe-Ni elektrodama bez predgrijavanja. Pri tome je bijeli (evropski), uslijed svoga nižeg sadržaja ugljika na rubnim površinama znatno pogodniji nego crni temper-liv (američki). Taj se liv zavaruje na hladno, kao i sivi liv elektrodama Ni ili Fe-Ni.

24.162.5 Žilavi liv (nodularni)

Zavaruje se uglavnom kao i sivi liv, pri čemu ipak najvećim dijelom dolazi u obzir hladno ili polutoplo zavarivanje, i to elektrodama Fe-Ni ili Ni.

24.163 Zavarivanje aluminija i njegovih legura

Glavni problem pri zavarivanju Al je njegov oksid (Al_2O_3), koji zapravo štiti sam Al od daljnje korozije. Talište čistog Al je 658°C i specifične težine 2,7 kp/dm³, dok je talište aluminijskog oksida znatno više — 2 050°C — a specifična težina je 3,9 kp/dm³.

Zagrijavanjem pri zavarivanju aluminij se tali, a oksidn sloj još nije zagrijan do tališta pa kao specifično teži tone u rastaljeni aluminij, onečišćuje ga i zavar čini nehomogenim. Al-oksid vrlo brzo nastaje na površini Al, a debljina mu je 0,1—0,3 μ. Sam Al ima velik afinitet prema kisiku i sposobnost otapanja plinova, što čini još jedan problem pa se plinsko zavarivanje mora obavljati uz upotrebu talila na bazi kalijevih, natrijevih i litijevih klorida i fluorida ili u zaštitnom plinu uz prethodno dobro mehaničko ili kemijsko čišćenje onečišćenih dijelova osnovnog i dodatnog materijala. Al i Al-legure mogu se zavarivati plinski, elektrolučno — obloženim i ugljenim elektrodama, postupkom TIG i MIG, elektrootporno i zavarivanjem na hladno.

24.163.1 Plinsko zavarivanje

Pri tom zavarivanju obvezatno moramo upotrijebiti talilo, tj. prašak koji će teško taljive okside pretvoriti u lako taljivu šljaku, koja će plivati na površini i štititi talinu od daljnje oksidacije. Talilo se proizvodi obično u obliku praška, a prije upotrebe otapamo ga u destiliranoj vodi da bismo ga lakše i jednoličnije mogli nanijeti na površinu koju zavarujemo. Ako smo radili higroskopnim talilom, moramo ga nakon zavarivanja ukloniti pranjem u vrućoj vodi jer je agresivno. Neki proizvodači dodatnog materijala stavljaju talilo u odgovarajućoj količini na šipku u obliku obloge. Zavaruje se plamenom u kojem imamo mali pretičak acetilena.

Plinsko zavarivanje aluminija. Potrošnja po 1 m zavara

Tablica 25.

Debljina lima (mm)	Potrošnja žice		Potrošnja plina		Potrošnja talila (g)	Vrijeme zavarivanja min/m
	promjer (mm)	dužina (m)	acetilen (l)	kisik (l)		
0,5	—	—	4	3	4,5	5
1	2	2,5	6	5	5	7,5
2	2—3	2,5—3	10	8	6	10
3	3	1,5—2,5	20	16	8	13
4	3—5	1,5—2,5	40	35	11	15
5	5	1,5—2,5	70	60	15	17
6	8	1,5—2,5	100	90	20	18
7	8	2,5—3,5	150	130	25	20
8	8	3—4	250	200	32	22
10	8	3—4	350	330	45—50	22
12	8	4—6	750	600	70—75	24

24.163.2 Elektrolučno zavarivanje

24.163.21 *Obloženim elektrodama*

Primjenjuje se rjeđe zbog osjetljivosti elektroda na tehniku rada i higroskopnost. Upotrebljava se istosmjerna struja, pri čemu napon praznog hoda stroja ne smije biti manji od 60 do 70 V.

Elektrolučno zavarivanje Al i Al-legura

Tablica 26.

Debljina materijala (mm)	Razmak grla žlijeba (mm)	Elektrode		Jačina struje (A)	Vrijeme zavarivanja min/m
		promjer (mm)	komada (po 1 m zavara)		
1	0	2,5	2	40— 70	2,5
2	1	3	2	70—100	2,5
3	1,5—2	4	3	100—130	3
4	2 —2,5	5	3	130—150	4,5
5	2,5—3	6	4	150—190	4
6	3 —3,5	6	4	150—190	4
7	3 —3,5	8	4	190—240	4,5
8	3,5—4	8	5	190—240	5
10	3,5—4	5 ili 6	8	130—190	6
15	4 —4,5	6 ili 8	8	190—240	8

24.163.22 *TIG*

Pri tom postupku upotrebljava se izmjenična struja stabilizirana visokofrekventnom strujom. Izmjenična struja potrebna nam je za elektromehaničko čišćenje oksidnog sloja. To je najkvalitetniji način zavarivanja Al i njegovih legura, a primjenjuje se za tanke i srednje debele limove, dok je za deblje limove ekonomičnija primjena postupka MIG.

24.163.23 *MIG*

Struja zavarivanja je istosmjerna, elektroda je plus-pol (taljiva Al žica). Kvaliteta tako zavarenog spoja nešto je lošija od prethodnog, ali je ekonomična jer je zavarivanje znatno brže.

24.163.3 Zavarivanje aluminijskih legura

Gotovo sve aluminijske legure daju se dobro zavarivati. Važno je prema osnovnom materijalu odabrati odgovarajući dodatni materijal i najprikladniji postupak zavarivanja.

Kod termički obrađenih legura zavarivanjem gubimo osobine dobivene termičkom obradom. Pri zavarivanju u remontu, kao i onda kad nam nije poznat sastav legure možemo odgovarajućim kemijskim reakcijama na čistim površinama jednostavno odrediti skupinu legure u koju taj materijal spada.

Zavarljivost Al legura

Tablica 27.

Tip legure	Zavarljivost	Tip legure	Zavarljivost
Al — Cu-Mg	dobra	Al-Mn	srednja
Al — Cu-Mg platir.	dobra	Al-99	srednja
Al — Zn-Mg	dobra	Al-Si liv	srednja
Al — Zn-Mg platir.	dobra	Al-Si-Mg liv	srednja
Al — Mg-Si	dobra	Al-Cu liv	srednja
Al — Mg_3	srednja		

24.164 Zavarivanje bakra i njegovih legura

24.164.1 Zavarivanje bakra

Kod bakra nam pri zavarivanju čini poteškoće njegova dobra toplinska vodljivost i kisik s kojim se bakar dobro veže u bakreni oksid i oksidul. Ovi ne utječu nepovoljno ako ih ima ispod 0,15%. Djelovanjem topline pri zavarivanju kuglasti oksidul koji se nalazi u zoni taljenja i njegovoj neposrednoj okolini pri zagrijavanju se rastvori u metalu, a u procesu hlađenja izlučuje se u obliku eutektikuma oko zrna kristala, uslijed čega im smanjuje koheziju pa metal postaje duž zavara krt tako da skupljanje materijala pri hlađenju može biti dovoljno da izazove pukotine. Zavarivanjem dobivamo grubo zrnatu strukturu, koju možemo usitniti na nekoliko načina i time poboljšati mehaničke osobine, i to:

1 — iskivanjem u hladnom stanju; nakon kovanja žarimo razbijenu ljevačku strukturu da bi se dobila sitnija struktura, tj. poboljšalo istezanje;

2 — iskivanjem u toplu stanju i žarenjem; područje iskivanja na toplo je iznad 700 —800°C, a izvodi se brzim i laganim udaranjem čekića kuglastog oblika;

3 — iskivanje zavara možemo izvršiti i tokom zavarivanja tako da zavareni dio ugrijan do crvenog žara iskujemo uz stalno podržavanje crvenog usijanja; nakon toga nastavljamo zavarivanje i ponavljamo iskivanje.

Dodatni materijal i njegova primjena za zavarivanje aluminija i legura (DIN 1732) Tablica 28.

Dodatni materijal							Osnovni materijal	Postupci zavarivanja			
Naziv	Sastav %							plinsko	elektrolučno	TIG	MIG
	Al	Mg	Mn	Si	Cr	Ti					
Al 99, 98R	99,98	—	—	—	—	—	Al 99, 98 R Al 99,9	+	+	++	++
Al 99,8	99,8	—	—	—	—	—	Al 99,5 Al 99,7 E Al 99,5 E Al-Mg-Si	++	++	++	++
Al 99,5	99,5	—	—	—	—	—	Al 99 Al 99,5 E Al 99,5 E Al-Mg-Si	+	+	+	+
Al 99,5 Ti	99,5					0,1— —0,2	Al 99,5 Al 99	++	++	++	++
Al-Mn	98,2—99,2	0—0,3	0,8— —1,5	—	—	—	Al-Mg_1, Al-Mg_2 Al-Mg_3, Al-Mg_5 Al-Mn, Al-Mg-Mn	++	++	++	++
Al-Mg-Mn	96—98	1,6— —2,5	0,5— —1,5	—	0—0,3	—	Al-Mg-Mn	++	++	++	++
Al-Mg_3	96—98	2—3,3	0—0,4		0—0,3		Al Mg_3 Al-Mg_2 Al Mg_3, Al-Mg_5 Al-Mg-Si 0,5 Al-Mg-Mn, Al-Mg	++	+	++	+
Al-Mg_3-Si	94,6—97	2,3— —3,5	0,3— —0,8	0,5— —0,8	0—0,3		Al-Mg_3-Si Al-Mg_3 Al-Ng-Si 0,5	++	—	+	+
Al-Mg_5	93,6—95,6	4,3— —5,5	0— —0,6		0—0,3		Al-Mg_5, Al-Mg_3 Al-Mg-Mn Al-Mg_5-Mn	+	—	++	++
Al-Si_5	94,5—95,5	—	—	—	4,5— —5,5	—	Al-Mg-Si Al-Mg Al-Zu-Mg Al-Si	++	++	++	++
Al-Si_{12}	86—89	—	0—0,5	11— —13,5	—		Al-Si	++	++	++	++

\+ postupak odgovara
\+ + postupak se preporučuje.

Bakar možemo zavarivati plinski elektrolučno obloženim elektrodama, elektrolučno pod zaštitom plinova i praška, ugljenim elektrodama, elektrootporno i na hladno. Pri plinskom zavarivanju upotrebljavamo strogo neutralan plamen, uz upotrebu talila na bazi boraksa i borne kiseline. Elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama bez predgrijavanja primjenjuje se samo za male debljine, dok je pri većim debljinama potrebno izvršiti predgrijavanje od 250 do 650°C.

Postupkom TIG i MIG možemo zavarivati bez upotrebe talila ili njime (za veće debljine) uz predgrijavanje na kojih 250—650°C.

24.164.2 Zavarivanje bakrenih legura

24.164.21 *Bronca.* — Zavarivanje je uglavnom ograničeno na popravke, a rjeđe je to sistem spajanja konstruktivnih dijelova. Općenito su bronce lakše zavarljive od bakra.

Svaka bronca ima svojih specifičnosti u pogledu svojstava pa tako i u pogledu zavarljivosti. Glavni problemi su poroznost i osjetljivost na pukotine, koja se znatno povećava krutošću konstrukcija. Zbog toga je općenito potrebno predgrijavati i poslije zavarivanja lagano hladiti. Najčešće primjenjivani postupci zavarivanja jesu plinsko, elektrolučno obloženim elektrodama i pod zaštitom plinova, elektrootporno. Silicijske bronce su relativno dobro zavarljive plinski, elektrolučno i elektrootporno.

Aluminijska bronca je slabije zavarljiva od ostalih bronci zbog utjecaja aluminijeva oksida. Za zavarivanje najviše odgovaraju postupci TIG i MIG uz predgrijavanja od 150 do 300°C.

24.164.22 *Mjed*

Općenito je slabo zavarljiva. Ovisno o sastavu, javljaju se pore i pukotine; kao postupak zavarivanja primjenjuje se plinsko zavarivanje s talilom i bez njega, elektrolučno s obloženim ili ugljenim elektrodama, te u zaštitnoj atmosferi plinova i elektrootporno. Pri plinskom zavarivanju upotrebljavamo plamen s viškom kisika (do 40%) bez upotrebe talila ili s neutralnim plamenom i talilom na bazi boraksa i borne kiseline.

24.17 ISPITIVANJE I KONTROLA ZAVARIVANJA

Poduzeće koje se bavi zavarivanjem odgovornih konstrukcija treba da osim zavarivačkog stručnog kadra i potrebne opreme ima i odgovarajuću stručnu osobu — inženjera ili tehničara koji će biti odgovoran za pravilnu primjenu, izvršenje i ispitivanje kvalitete zavarivačkih radova.

Dobro organizirana kontrola zavarivanja treba da stalno prati sve ono što utječe na kvalitetu zavarene konstrukcije, tj. stručnu sposobnost zavarivača i ispravnost opreme, te ispitivanje i kontrolu za vrijeme pripreme, tokom zavarivanja i poslije ovoga.

Stručna sposobnost zavarivača provjerava se prema postojećim propisima (JUS CT3.061) ili uzancama koje se odnose na odgovarajuću vrstu konstrukcija. Osim toga potrebno je voditi kartoteku zavarivača, po kojoj se na temelju izvršene kontrole zavara može pratiti kvaliteta rada svakog pojedinog zavarivača na odgovarajućim poslovima.

O izboru, kvaliteti i ispravnosti opreme ovisi učin zavarivanja i kvaliteta zavarenog spoja, zato treba dobro paziti pri izboru opreme.

Kontrola pripreme za zavarivanje treba da obuhvati osnovni i dodatni materijal, oblik predvidenog spoja (pravilnost kuta žlijeba, otvora grla, visinu zatupljenja itd.), kao i njihovu čistoću.

Tokom zavarivanja treba da kontrola obuhvati način zavarivanja, oblik i dimenziju zavara, promjer dodatnog materijala (žice ili elektrode), vrste plamena ili jačinu struja, ispravnost tehnike rada i izvođenja zavarivanja. Napose se mora obratiti pažnja kontinuitetu i homogenosti zavara. Kontrola pak zavara poslije zavarivanja treba da obuhvati izgled i pravilnost oblika zavara, postojanje pukotina, rubnih zareza, neprovarenog korijena, početnih i završnih kratera, tj. sve ono što se može ustanoviti vizuelnom kontrolom.

Pri odgovornim kontrukcijama ili njihovim dijelovima mora se izvršiti radiografska kontrola (rendgenom ili izotopima) ili kontrola nekim drugima načinom bez razaranja. (penetrantima, magnetofluksom ili ultrazvukom), kao i ispitivanje tlačenjem.

Način ocjenjivanja kvalitete snimaka utvrđuje se prema kriteriju koji su unaprijed postavili izvršilac i naručilac, a uz pomoć radiogramskog atlasa ili slično. Za svaku vrstu kontrole obvezatno je dati odgovarajuće specifične podatke koji karakteriziraju tu kontrolu i na temelju kojih se može postaviti kriterij za ocjenu kvalitete zavarenog spoja, tj. konstrukcije. Kad se nijednom od metoda kontrolom bez razaranja ne može sa sigurnošću ustanoviti greška, na zahtjev nadzornog organa isijeca se zavar radi provjere kvalitete.

Mehaničke osobine zavarenih spojeva obično se ispituju na produžnim pločama (etalonima), koje se pripoje u nastavku zavara i zavaruju u istim uvjetima kao i zavar konstrukcija.

Nakon zavarivanja produžna ploča se odsijeca i radiografski snima pa se iz nje izrađuju pokusne epruvete, na kojima se obavljaju mehanička ispitivanja (čvrstoća, savijanje s lica i korijena, žilavost, metalografska ispitivanja i drugo). Vidi JUS C.T3.051.

24.2 REZANJE I ŽLIJEBLJENJE METALA

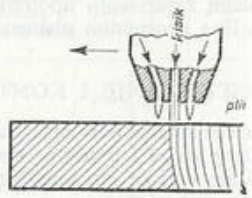
24.21 REZANJE METALA

24.211 Plinsko rezanje – kisikom ①

Zasniva se na svojstvu metala da zagrijan na temperaturu zapaljenja izgori u struji kisika. Na taj način mogu se rezati metali koji udovoljavaju ovim uvjetima:

- temperatura paljenja u kisiku mora biti niža od temperature samog metala;
- toplina nastala izgaranjem metala treba da je dovoljna da okolinu reza održava na temperaturi zapaljenja;
- temperatura taljenja oksida treba da je niža od temperature taljenja metala.

Temperatura paljenja za čelik raste s porastom legirajućih elemenata i za nisko legirane je u granicama od 1 155 do 1 300°C. Porastom sadržaja ugljika ta temperatura također raste pa je i pri 2,25%C jednaka temperaturi taljenja (1 375°C).



① Plinsko rezanje kisikom

24.211.1 Utjecaj pojedinih elemenata na sposobnost rezanja čelika

Treba odmah napomenuti da elementi koji se nalaze u čeliku ne djeluju neovisno jedan od drugoga na sposobnost rezanja. **Ugljik** do 1,9% omogućava rezanje, ali ako ga je više od 0,5%, treba izvršiti predgrijavanje da bi se spriječilo stvaranje pukotina. Kod legiranih čelika predgrijavanje je potrebno i pri manjem sadržaju od 0,5%. **Silicij** otežava rezanje. Do 4% silicija moguće je rezati ako je ugljika manje od 0,2%.

Mangan djeluje povoljno na rezanje. Ako uz velik postotak mangana imamo i veći postotak ugljika, potrebno je predgrijavanje da bi se spriječilo stvaranje pukotina.

Krom otežava rezanje. Do 5% kroma moguće je rezanje, ali iznad 2% zahtijeva se predgrijavanje na 650°C. Čelik sa sadržajem kroma iznad 5% ne može se rezati.

Nikal ne čini nikakve poteškoće pri rezanju ako njegov sadržaj ne prelazi 35%, uz uvjet da je sadržaj ugljika ispod 0,3%.

Aluminij znatno otežava rezanje. Preko 0,5% aluminija jako utječe na taj postupak, a iznad 2% rezanje nije moguće.

Bakar do 0,7% ne utječe na rezanje.

Molibden ima jak utjecaj na sposobnost rezanja. Čelici do 0,3% molidbena dobro se režu. Od 0,3% do 1% režu se vrlo malim brzinama, a preko 2,5% ne mogu se rezati.

Volfram otežava rezanje. Do 10% volframa čelici se dobro režu, predgrijavanje iznad 10% zahtijeva se na 450°C, a oni s više od 20% volframa ne mogu se rezati.

Sumpor i fosfor nalaze se u malim količinama u čeliku i ne utječu na rezanje.

24.211.2 Plinovi pri rezanju

Na rezanje znatno utječe čistoća kisika. Pri primjeni kisika čistoće manje od 99,5% treba povisiti pritisak i smanjiti brzinu rezanja. Zbog toga se potrošak povećava.

Čistoća O_2 %	Pritisak u %	Potrošak u %	Brzina rezanja %
99,5	100	100	100
99	110–115	110–115	95
98,5	122–125	122–125	91
98	138–140	138–140	87
97,5	158–160	170–175	83

Potrošnja kisika i acetilena za rezanje Tablica 1.

Debljina materijala mm	Veličina sapnice za rezanje	Veličina sapnice za grijanje	Pritisak kisika atm	Brzina rezanja mm/min	Potrošnja	
					kisika l/h	acetilena l/h
3	1	1	1,0	350	1 200	350
10			1,5	280	1 500	440
30	2		2,5	215	2 750	610
60	3	2	3,5	175	5 100	750
100	4		4,5	150	8 500	950
150	5	3	6	130	13 600	1 050
200				115	15 500	1 150
250	6	4	7,5	95	20 100	1 250
300				80	22 000	1 350

Kao gorivi plinovi plamena za zagrijavanje mogu se upotrijebiti acetilen, propan, vodik, te rasvjetni i zemni plin.

Za koji od plinova ćemo se odlučiti, zavisi od više faktora. Najčešće se upotrebljava acetilen jer može poslužiti i za zavarivanje i za rezanje, dok propan iz ekonomskih razloga uzimamo samo ako režemo veće dužine. Uz ručno imamo i strojno rezanje. Pri tome se služimo malim elektro-motorima koji pokreću nosače plamenika, a brzina im se može regulirati i uskladiti s brzinom rezanja.

Kvaliteta reza ovisi mnogo o kretanju plamenika pa je strojno rezanje znatno kvalitetnije od ručnog. Jedan od najjednostavnijih uređaja za pravocrtno ili kružno rezanje jesu kolica s montiranim plamenikom za rezanje. Za izrezivanje različitih oblika i s nekoliko plamenika istodobno postoje automati uz vođenje po šablonama ili uz vođenje po crtežu. Pri strojnom rezanju treba voditi brigu o deformacijama koje nastaju pri rezanju uslijed zagrijavanja te propisati smjer vođenja plamenika.

Potrošak plina pri strojnom rezanju kreće se od 0,5 do 2,5 litre po cm² rezne površine materijala. S obzirom na debljinu može se računati s ovim potrošcima:

manje od 50 mm	0,5—1 litra/cm²
50—150 mm	1—1,5 „
150—300 mm	1,5—2,5 „
preko 300 mm	preko 2,5 „

Plinsko rezanje primjenjuje se i za rezanje pod vodom, pomoću specijalno konstruiranog plamenika. Kao gorivi plin upotrebljavaju se acetilen, vodik ili propan, što ovisi o dubini na kojoj se rezanje izvodi.

24.212 Plinsko rezanje kisikom uz upotrebu željeznog praška

Postupak se sastoji u tome da u plinski plamen dovodimo željezni prašak, koji nam služi da svojim izgaranjem poveća temperaturu plamena i da teško taljive okside nastale pri rezanju pretvori u šljaku i ispuše iz reza te da mehanički djeluje na uklanjanje istaljenog metala i oksida. Tim načinom možemo rezati sivi liv, bakar, aluminij i nerđajuće čelike,

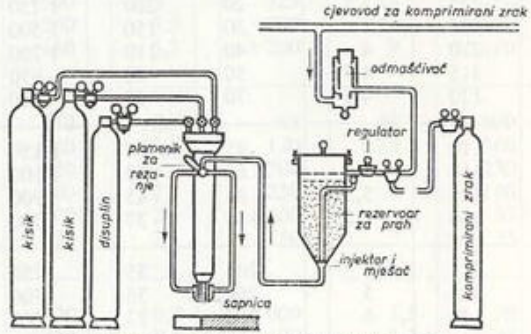
Plinsko rezanje kisikom i željeznim praškom Tablica 2.

Materijal	Debljina mm	Sapnica u 1/10 mm	Pritisci		Srednja brzina rezanja m/h	Potrošak po metru reza		
			Acetilen g/cm²	Kisik kg/cm²		Acetilen *l*	Kisik ukupno *l*	Prah kg
Nerđajući čelik 18/8	5	10	200	3,5	25	14	106	0,36
	10	15	200	2,2	22	21	221	0,455
	15	15	200	3,5	20	23	258	0,500
	30	20	250	3,0	13	56	636	0,700
	40	20	250	3,5	11	66	836	1,000
	60	25	250	3,5	10	90	1 350	1,100
	90	25	250	4,0	9	100	1 660	1,340
	125	25	300	4,0	8	125	1 875	1,500
	150	30	300	4,0	7	183	2 823	1,860
	175	30	400	4,0	4,5	330	4 880	2,900
	200	30	400	5,0	3	490	7 890	5,000
Sivi liv	10	20	200	3	11	59	740	0,820
	30	25	200	3	6,5	125	1 845	1,540
	60	25	250	3,5	5	180	2 680	2,400
	90	30	300	3,5	4	320	4 480	3,000
	125	30	350	4	4	345	4 945	3,500
	150	30	350	4,5	3,5	395	6 245	4,000
	200	30	400	5	2	740	11 840	7,500
	250	30	500	5	2	800	14 050	10,000
	500	45	550	7	1,5	3 300	46 000	26,700
Bronca i mjed	10	20	300	3,0	18	0,45	4,6	7
	15	25	300	3,0	15	0,45	5,35	7
	20	25	350	3,0	13	0,42	4,75	7
	40	25	400	3,5	7	0,415	4,85	7
	60	30	400	3,5	6	0,41	5,0	7
	80	30	400	4,0	5	0,37	5,0	7
	120	35	450	3,0	4	0,57	5,3	8
	150	35	450	3,5	2,7	0,63	5,7	8
	200	40	500	4,0	2,5	0,66	7,3	9
	230	45	500	4,5	2,2	0,95	10,4	10

Bakar

Debljina mm	Temperaturni uvjeti	Vrijeme potrebno za predgrijavanje pomoću plamenika za rezanje s	Sapnica u 1/10 mm	Pritisci		Potrošak praha kg/h	Brzina rezanja m/h	Potrošak sveden na 1cm² rezne površine		
				Kisik za rezanje kg/cm²	Acetilen g/cm²			Kisik ukupno *l*/cm²	Acetilen *l*/cm²	Prah g/cm²
40	hladno	25	40	3,5	400	15	9	15	2,5	9
	tamno crveno	5	40	3,5	400	15	10	13	2	8
	svijetlo crveno	—	40	3,5	300	15	24	5	1	3,5
70	hladno	45	45	3,5	500	20	4	12,5	1,7	6
	tamno crveno	10	45	3,5	400	20	7	9	1,2	5
	svijetlo crveno	5	45	3,5	400	20	15	3,5	0,5	2

dakle one metale koji se klasičnim načinom nisu mogli rezati. Uređaj ② se sastoji od plamenika za rezanje, injektora za prašak, i od posude za prašak. Željezni prašak dovodi se komprimiranim zrakom ili dušikom.



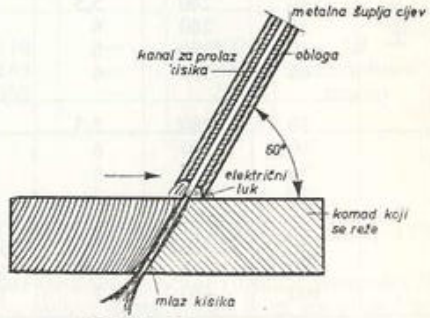
② Plinsko rezanje kisikom i željeznim praškom

24.213 Elektrolučno rezanje kisikom (OXYARC)

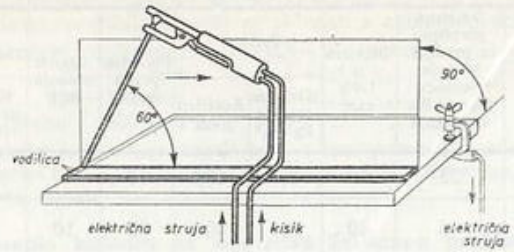
Pri tom postupku koristimo se šupljim elektrodama kojima predgrijavamo metal da bi ga kisik koji prolazi kroz elektrodu, mogao spaliti i ispuhati.

Tim postupkom rezanje je brzo i ekonomično, ali kvaliteta reza je lošija.

Postupak je prikladan za odrezivanje i izrezivanje raznih profila, za kasiranje, bušenje rupa, za skidanje zakovica i za žlijebljenje. Uz upotrebu odgovarajućih elektroda mogu se rezati tanji limovi od bakra, aluminija i legura, kao i od nerđajućih čelika.



③ Elektrolučno rezanje kisikom



④ Elektrolučno rezanje kisikom

Elektrolučno rezanje kisikom (OXYARC postupak)

Tablica 3.

Materijal	Debljina mm	Jačina struje A	Kisik		Brzina rezanja m/h	Dužina reza po elektrodi mm	promjer elektrode mm
			Pritisak atm	Potrošak l/m			
Niskougljični čelik	1	230	3	10	300	3 250	5,1
	2	235	3,5	20	220	1 750	
	3	250	4	30	150	1 500	
	4	270	4	40	110	1 200	
	5	315	4,5	50	80	950	
	6	120	4,5	70	50	750	
	8	110	4	45	57	1 150	5,15
	10	110	4,5	60	55	1 100	
	15	125	5,5	85	45	900	
	20	140	6,5	115	37	700	
	25	125	5	205	35	750	5,2
	30	125	5	250	33	700	
	40	140	6	340	23	500	
	30	200	5	320	30	665	7,2
	40	240	5,5	430	25	500	
	50	280	6	500	19	400	
	60	300	6	625	16	335	
	65	325	6	700	14	310	
	50	280	5,5	550	23	460	7,25
	60	300	6	625	19	390	
	70	325	6	750	16	300	
	80	350	6	900	14	240	
	80	350	6	1 100	17	260	7,3
	90	395	6,5	1 350	15	230	
	100	430	7	1 600	13	200	

(nastavak) Tablica 3.

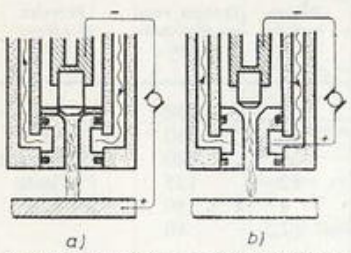
Materijal	Debljina mm	Jačina struje A	Kisik		Brzina rezanja m/h	Dužina reza po elektrodi mm	Promjer elektrode mm
			Pritisak atm	Potrošak l/m			
Nerđajući čelik	3	210	1,5	62	52	750	5,1 kontinuirano i pilasto rezanje
	7	260	1,5–2,5	110	36	450	
	10	320	2,5	180	26	280	
	20	220	2,5	400	12	125	
	40	220	2,5	800	4	60	
	60	220	2,5	1 200	2,5	40	
	80	300	3,5	3 200	3,6	45	7,2 pilasto rezanje
	100	300	3,5	4 000	2,7	35	
	120	300	3,5	4 800	1,8	30	
Bakar	3	240	2,5	80	43	600	5,1
	5	300	3	125	33	360	
	8	450	3	260	22	360	7,2
	10	500	3	325	15	280	
	15	580	3,5	500	12	190	
	25	660	3,5	1 200	9	110	
Bronca i mjed	3	210	2,5	68	48	600	5,1 kontinuirano i pilasto rezanje
	7	260	2,5	120	29	360	
	10	320	3	200	21	230	
	20	300	2	250	6	110	
	40	300	2	500	3	55	
	60	300	2	750	2	35	
	80	430	0,8	1 000	1,5	30	7,2 pilasto rezanje
	100	480	0,8	1 300	1,2	25	
	120	550	1	1 600	1	20	
Aluminij	5	190	1,5	110	–	400	5,1 kontinuirano rezanje
	10	220	2,5	165	–	300	
	25	260	2,5	250	–	200	

24.214 Plazma-rezanje

Plazma je četvrto agregatno stanje materije i odgovara stanju plina upotrijebljenog pri plazmi plamenika.

Prolazeći kroz električni luk između elektrode (volfram i slično) i usnika plamenika ili elektrode i radnog komada, kroz usku sapnicu, plinovi se zagrijavaju do te mjere da diso-

ciraju i ioniziraju te u jakom mlazu temperature do 25 000°C i više izlaze prema komadu koji režemo pa ga u uskoj zoni rastale i ispušu.



⑤ Plazma-rezanje: a – otvoreni (prijelazni) električni luk, b – zatvoreni (neprelazni) električni luk

Za rezanje se uglavnom upotrebljava otvoreni (prijelazni) električni luk (električni luk izmedu elektrode i rezanog komada), za manje debljine primjenjuje se zatvoreni (neprelazni) luk (luk izmedu elektrode i usnika).

Kao plinovi upotrebljavaju se argon, vodik, dušik, kisik, zrak, pa i vodena para. Izbor plina ovisi o konstrukciji plazma-plamenika. Tim postupkom mogu se rezati gotovo svi metali brzinama koje su veće nego pri postupcima koje smo dosad naveli. Rezne površine su glatke, s neznatnim strukturnim promjenama u vrlo uskoj zoni od svega nekoliko desetinki milimetra.

Plazma-rezanje Tablica 4.

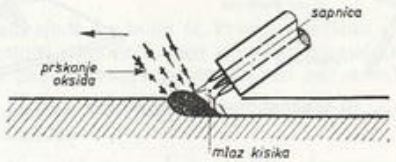
Debljina lima mm	Visokolegirani čelici		Obojeni metali		Laki metali		Konstruktivni čelik		Mješavina plina i potrošak
	Brzina rezanja m/min	Snaga kW	Brzina rezanja m/min	Snaga kW	Brzina rezanja m/min	Snaga kW	Brzina rezanja m/min	Snaga kW	
4			2,8	17					~ 20 l/min 80% Ar + 20% H_2
5	0,75–2,80	17					0,8–2,8	16	
6			0,65–2,2	17	1,2–5,4	17	0,8–2,8	16	
8	0,64–1,7	17	0,36–0,6	17	0,9–2,8	17			
10	0,52–1,2	17					0,6–1,4	16	
12	0,44–1,0	17	0,25–0,44	17	0,6–2,0	18			
15	0,44–1,0	17					0,56–0,95	16	
20	0,35–0,7	17	0,25	18	0,4–1,0	17	0,38–0,74	16	
25					0,3–0,9	17	0,25–0,52	16	
30	0,25–0,5	17	0,18	18			0,28–0,42	16	
15	1,6	73	0,9	52	2,5	55	0,7–2,3	50–100	~ 90 l/min 65% Ar + 35% H_2
20	1	70					1,8	100	
30	0,6	70					1,2	100	
40			0,6	70	0,6	56			
50	0,5	88			1,3	100			
60			0,3	90					
70	0,4	96	0,5	84			0,4	85	
80	0,4	100			1,3	132	0,3	100	
100							0,3	90	
120							0,2	128	

24.22 ŽLIJEBLJENJE

Pod žlijebljenjem razumijevamo izradu raznih žljebova (utora) na metalu u svrhu uklanjanja nastalih grešaka ili pripreme materijala za zavarivanje.

24.221 Plinsko žlijebljenje ⑥

Zasniva se na načelu izgaranja i taljenja metala, slično kao i pri plinskom rezanju, s tom razlikom što ovdje kisik izlazi kroz širu sapnicu manjom brzinom tako da ne prodire u dubinu, već površinski izgara i tali te otpuhuje šljaku i rastaljeni metal.



⑥ Žlijebljenje kisikom

Primjenom raznih vrsta sapnica možemo dobiti razne vrste žljebova.

Promjenom sapnica na plameniku za rezanje može se izvoditi žlijebljenje.

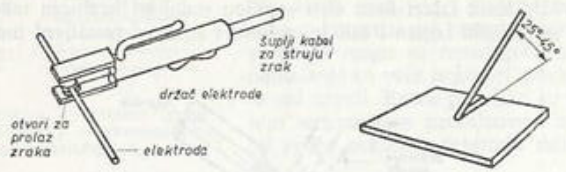
Plinsko žlijebljenje

Tablica 5.

Sapnica mm	Pritisak kisika at	Kut nagiba	Brzina m/min	Dimenzija žlijeba	
				Širina	Dubina
1	2,5	40°	25	8	3
	2,5	40°	30	6	2
	3,5	40°	40	8	5
	3,5	40°	50	8	4
	3,5	35°	40	10	5
	4,5	35°	50	9	4
1,5	3,5	30°	60	9	7
	3,5	30°	70	9	6
	4,5	30°	80	9	5,5
	4,5	35°	80	9	6
	4,5	35°	90	9	5
2	3,5	35°	70	13	6
	3,5	35°	95	13	5
	4,5	30°	80	13	7
	4,5	30°	110	13	5,5

24.222 Elektrolučno žlijebljenje (ARCAIR) ⑦

Izvodi se ugljenom elektrodom i komprimiranim zrakom. Za tu svrhu služe specijalna kliješta. U njih stavljamo ugljenu elektrodu tako da uz nju s donje strane struji komprimirani zrak, koji elektrodom rastaljeni metal ispuše, a pri tome ostaje željeni žlijeb. Jačina struje je 60 A po 1 mm ⌀ elektrode. Potrošak zraka je 5—6 m³ po 1 kg izlijebljenog metala.



⑦ Elektrolučno žlijebljenje (ARCAIR)

Elektrolučno žlijebljenje (ARCAIR)

Tablica 6.

Žlijeb		Promjer elektrode mm	Posmik cm/min	Dužina po jednoj elektrodi
Širina	Dubina			
6	1,5	5	200	3
7	3	5	100	1,2
8	5	5	65	0,9
9	3	6	130	2,7
9	6	6	75	0,8
12	5	8	115	2,4
12	12	8	65	1,0
16	7	10	75	2,2
16	12	10	35	1,0

24.3 LEMLJENJE

To je postupak spajanja dvaju metala trećim (lemom), koji ima niže talište. Spajanje metala ostvaruje se difuzijom lema u površine spajanih komada.

Da bi se to ostvarilo, potrebno je komade očistiti od oksida i masnoća i premazati talilom (dezoksidantom), koji može biti u obliku praška ili paste. Talilo treba da otapa okside i da s njima tvori lako taljivu šljaku, koja otječe, dok na to mjesto dolazi rastaljeni lem. Ono ostaje blizu mjesta na kojem se lemi i prekriva zagrijani metal te ga štiti od daljnje oksidacije. Izbor talila je neobično važan jer ono utječe na kvalitetu spoja i na vrijeme lemljenja, a odabiremo ga prema vrsti lema.

Mjesto lemljenja može se zagrijavati na razne načine: lemilom, plinskim plamenikom, indukcijom, elektrootporno u električnim i plinskim pećima itd.

Lemove dijelimo na meke, temperature taljenja od 450°C, i na tvrde, temperature taljenja od 450 do 1 200°C.

Danas se zbog svojih prednosti mnogo primjenjuje tehnika lemljenja jer smo u stanju da niskim zagrijavanjem kod čelika ispod temperature rekristalizacije dobijemo spojeve čvrstoće i do 80 kp/mm²

Tim načinom mogu se spajati i raznorodni metali različitih tališta. Velika je prednost lemljenih spojeva lijep estetski izgled pa u tu svrhu nije potrebna naknadna dorada. Potrošak lema je vrlo malen. Na to utječe i priprema, koja je to kvalitetnija što su zazori manji, a time je veća i sama čvrstoća zalemljenog spoja.

Čvrstoća zalemljenih spojeva računa se na smik, a rjeđe na vlak, što zavisi od vrste samog spoja. Što je sloj lema tanji, čvrstoća na smik je to veća (najveća je pri debljini sloja od 0,05 do 0,2 mm).

Što je pak rastaljeni lem rjeđi, to bolje će kvasiti površinu i imati veće kapilarno djelovanje, tj. bolje će ispuniti raspore. Danas nemamo mogućnosti da kontroliramo kvalitetu zalemljenog spoja bez razaranja pa ona zavisi od radnika koji izvodi posao.

Meki se lemovi izvode na bazi kositar-olovo, a tvrdi bakar i legure na bazi bakra izraduju se na bazi aluminija i slično.

U daljnim tablicama izneseni su podaci o nekim lemovima.

Aluminijski lemovi Tablica 1.

Oznaka (po DIN)	Sastav %	Talište °C	Upotreba
S Al 99,5	Al > 99,5 Ti 0,1—0,2	660	za čisti aluminij
S Al Si 5	Al > 93 Si 4—6	610	za aluminijske legure (napose Al Mg Si)
L Al Si 13	Al > 87 Si > 12	570	Za aluminij i njegove legure (osim Al Mg)
L Al 80	Al + Si > 80 Cu + Ni < 4 Sn + Cd < 12	540	Za aluminij i njegove legure
S Mg	Mg > 87 Al 9—11 Zn < 2,5 Mn 0,2—0,5	590	za magnezijske legure
L Zn Al 15	Zn > 84 Al > 14	430	za čisti aluminij i aluminijske legure za lijevanje
L Zn Sn	Zn > 60 ostalo Sn	320	za čisti aluminij
L Zn Cd	Zn > 56 Al < 4 ostalo Cd	320	za laki liv
L Sn 60 Zn	Sn > 59 Zn > 39	260	za čisti aluminij

Meki lemovi

Tablica 2.

Oznaka (po DIN)	Sastav %					Talište °C	Upotreba
	Sn	Sb max	Fe max	Cu + As + Ni max	Pb		
L Pb 98,5	—	—	—	—	98,5	320	lemljenje plamenom
L Sn 8	8	0,5	0,05	0,10	ost.	305	
L Sn 25	25	1,7	0,05	0,10	ost.	257	
L Sn 30	30	2,0	0,06	0,12	ost.	249	grubo lemljenje cink i pocinčani lim
L Sn 33	33	2,2	0,07	0,14	ost.	242	
L Sn 35	35	2,3	0,07	0,15	ost.	237	mjed, bijeli lim
L Sn 40	40	2,7	0,08	0,16	ost.	223	
L Sn 50	50	3,3	0,09	0,18	ost.	200	Cu, meki čelik, fino lemljenje, zdravstveni predmeti
L Sn 60	60	3,2	0,10	0,20	ost.	185	
L Sn 90	90	1,3	0,10	0,20	ost.	219	

Legure s ekstremno niskim talištem
Roseova legura: 50% Bi, 25% Pb, 25% Sn — talište 94°C
Woodova legura: 50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn, 12,5% Cd — talište 70°C.

Kemijski sastav mjedenog lema

Tablica 3.

Oznaka	Sastav, %			Temperatura lemljenja °C	Specifična težina kg/dm³	Smjernice za primjenu
	Cu	Zn min.	Si			
S. Cu 85 Zn	84—86	13	0,2—0,4	1 020	8,7	Predmeti od bakra, čelika i lijevanog željeza
S. Cu 63 Zn	62—64	35	0,2—0,4	910	8,4	Cijevni vodovi, dijelovi vozila i predmeti za popravak; od bakra, čelika i lijevanog željeza
S. Cu 60 Zn	59—61	38	0,2—0,4	900	8,4	
S. Cu 54 Zn	53—55	44	0,2—0,4	890	8,3	Predmeti od bakra i lijevanog željeza
S. Cu 48 Zn	47—49	50		870	8,2	
S. Cu 42 Zn	41—43	56		845	8,1	Predmeti od nikla i bakra

Primjedba: u oznaci slovo »S« označava leguru za spajanje.

Kemijski sastav srebrnog lema

Tablica 4.

Oznaka	Sastav, %					Temperatura lemljenja °C	Smjernice za primjenu
	Ag	Cd	Cu	Zn	Ostalo		
S. Cu55ZnAg8	7—9		do 55	Ostatak		870	Veliko lemljenje na debelim dijelovima od lijevanog željeza, čelika, bakra ili bakrenih legura s najmanje 63% Cu; npr. izmjenjivači topline s debelim zidovima
S. Cu52ZnAg12	11—13		do 52			830	Veliko lemljenje na srednje debelim limovima, žici, cijevima od lijevanog željeza i čelika. Debeli dijelovi od bakra i bakrenih legura s min 56% Cu.
S. Cu52ZnAg12Cd	11—13	5—9	do 52			800	Malo lemljenje na debelim dijelovima od bakra i bakrenih legura. Lemljenje bakra i bakrenih legura s čelikom.
S. Cu49ZnAg15Cd	14—16	8—12	do 49			770	Malo lemljenje na platiranim čeličnim limovima. Srednje debeli dijelovi od bakra i bakrenih legura.
S.Cu43ZnAg20Cd	19—21	13—17	do 43			750	Malo lemljenje na tankim platiranim limovima medu sobom ili s čelikom.
S.Cu43ZnAg25	24—26		do 43			780	Tank limovi, žica i cijevi od lijevanog željeza i čelika; npr. za optiku i finu mehaniku. Veliko lemljenje na debelim dijelovima od bakra i bakrenih legura, kad je potrebna visoka vatrootpornost lema. Ova legura primjenjuje se samo ako S.Cu52ZnAg12, teško teče ili ako legure S.Cu49ZnAg15Cd i S.Cu43ZnAg20Cd nisu dovoljno vatrootporne.

(nastavak) Tablica 4.

Oznaka	Sastav, %					Temperatura lemljenja °C	Smjernice za primjenu
	Ag	Cd	Cu	Zn	Ostalo		
S.Cu42ZnAg25Cd	24—26	12—16	do 42	Ostatak		730	Malo lemljenje na srednje debelim i tankim dijelovima od bakra i bakrenih legura
S.Cu40ZnAg27Mn	24—28		do 40		Mn do 10 Ni do 6	840	Veliko i malo lemljenje na debelim i tankim dijelovima od kemijski postojanih čelika ili tvrdih metala.
S.Cu44ZnAg30Cd	29—31	3—7	do 44			770	Veliko i malo lemljenje na dijelovima od bakra i bakrenih legura, koji se naknadno oblikuju. — Ova legura primjenjuje se samo ako legure S.Cu49ZnAg15Cd i S.Cu43ZnAg25 ne zadovoljavaju.
S.Cu36ZnAg30Cd	29—31	10—14	do 36			700	Malo lemljenje na srednje debelim i tankim limovima, žici i cijevima od bakra i bakrenih legura; drugo lemljenje poslije S.Cu49ZnAg15 Cd i drugih legura. Ova legura primjenjuje se samo ako je temperatura taljenja legure S.Cu43 ZnAg20Cd i S.Cu42 Zn Ag 25 Cd suviše visoka.

(nastavak) Tablica 4.

Oznaka	Sastav, %					Temperatura lemljenja °C	Smjernice za primjenu
	Ag	Cd	Cu	Zn	Ostalo		
S.Cu42ZnAg38Sn	37—39		do 42	Ostatak	Sn do 4	800	Malo lemljenje na dijelovima turbina, pumpi i drugih strojeva, od konstrukcionih čelika i bronce, kad se zahtijeva otpornost prema morskoj vodi. Ova legura primjenjuje se samo ako S.Cu52ZnAg12, S.Cu 52ZnAg12Cd i S.Cu43 ZnAg25 nisu dovoljno otporne prema morskoj vodi.
S.Cu32ZnAg44	43—45		do 32			730	Veliko lemljenje na tankim dijelovima od bakra i bakrenih legura, kad je potrebna vatrootpornost lema; drugo lemljenje poslije S.Cu43ZnAg25. Lemljenje čeličnih tračnih pila. — Ova legura primjenjuje se samo ako legura S.Cu43ZnAg25 teško teče ili ako S.Cu 42ZnAg25Cd nije dovoljno vatrootporna.
S.Cu19ZnAg45Cd	44—46	18—22	do 19			620	Malo lemljenje na komadima od kemijski postojanih čelika, bakra ili bakrenih legura, napose ako su komadi osjetljivi na zagrijavanje i naprezanje. Ova legura primjenjuje se samo ako S.Cu36ZnAg30Cd teško teče, ili kao legura za treće lemljenje poslije S.Cu36ZnAg30Cd.

(nastavak) Tablica 4.

Oznaka	Sastav, %					Temperatura lemljenja °C	Smjernice za primjenu
	Ag	Cd	Cu	Zn	Ostalo		
S.Cu18ZnAg49Mn	48—50		do 18	Ostatak	Mn do 8 Ni do 5	690	Veliko i malo lemljenje na dijelovima od čelika s difundiranim kromnim slojem
S.Cu32ZnAg50Cd	49—51	3—7	do 32			700	Malo lemljenje na dijelovima od bakra i bakrenih legura, kao legura za drugo lemljenje poslije S.Cu44ZnAg30Cd, a napose za zahtjeve na otpornost prema koroziji. Primjenjuje se samo ako S.Cu44ZnAg30Cd i S.Cu32ZnAg44 teško teku, ili kao legura za drugo lemljenje poslije S.Cu44ZnAg30Cd.

24.4 LIJEPLJENJE

Spajanje metala lijepljenjem je postupak pri kojem se veza među spojenim dijelovima ostvaruje pomoću tankog sloja umjetne materije — umjetne smole.

Lijepljenje omogućava spajanje raznih metala i nemetala. Kod metala taj postupak dolazi u obzir najčešće onda ako treba spriječiti gubitak osobina postignutih termičkom obradom (termički obrađen duraluminij) ili kod tankih dijelova i za izbjegavanje deformacija.

Mane lijepljenih spojeva jesu osjetljivost na naprezanje od savijanja i udara te opasnost od ljuštenja. Da bi se smanjili navedeni utjecaji, često se primjenjuje lijepljenje kombinirano s drugim postupcima spajanja (npr. zakivanje).

Sile koje ostvaruju tu vezu jesu kohezija (unutrašnja vlastita čvrstoća ljepila) i adhezija, tj. čvrstoća spajanja ljepila s osnovnim materijalom. Kemijske molekularne sile koje ostvaruju tu adheziju mnogo su veće od mehaničkih adhezionih sila, tj. sidrenje lijepka u pore i neravnine materijala koji se lijepi.

Moć prianjanja povećava se poboljšanjem čvrstoće samog ljepila i izborom prikladne debljine premaza. Kako je kohezija ljepila manja od djelovanja adhezionih sila, potrebno je najveću pažnju obratiti nastojanju da se pronađe iskorištenje optimalnih adhezionih sila, tj. ostvarenju što tanjeg sloja ljepila i što boljeg prisnog nalijeganja površina.

Najveća čvrstoća lijepljenih spojeva postiže se pri debljini sloja ljepila od maksimalno 0,15 mm. Porastom te debljine čvrstoća naglo pada. Za adhezione sile od presudnog

je značenia način izvođenja lijepljenih spojeva, a napose prethodna površinska obrada materijala koji se lijepe.

Površina za lijepljenje treba da je tehnički potpuno čista, osobito kod metala, tj. oslobođena svih nečistoća. Za uklanjanje masnoća preporučuje se triklor-etilen, a za okside i druge nečistoće pjeskarenje.

Osim mehaničkog hrapavljenja i čišćenja površine primjenjuje se i kemijsko putem nagrizanja kiselinama, najčešće rastvorom kromne kiseline (»ecovanje«). Ta metoda pokazala se najboljom, ali je i najskuplja.

Kvalitetu spoja možemo poboljšati djelovanjem pritiska koji ostvaruje ravnomjernu raspodjelu ljepila i utiskuje viskozno ljepilo dublje u pore površina koje se lijepe. Pritisak se primjenjuje napose kod ljepila koja sadržavaju hlapljive sastojke radi njihova istiskivanja.

Veličina pritiska zavisi od postotka hlapljivih sastojaka u ljepilu i napetosti koje nastaju uslijed volumenskog skupljanja ljepila.

Vrijeme otvrdnjavanja nekih ljepila za metale Tablica 1.

Vrsta ljepila	Temperatura otvrdnjavanja °C	Vrijeme otvrdnjavanja
Araldit tip I	110	48h
	120	24h
	130	10h
	140	5h
	150	3h
	160	2h
	170	80 min
	180	55 min
	190	45 min
	200	30 min
	220	10 do najviše 60 min
	250	7 „ „ 10 min
	280	3 „ „ 5 min
Araldit tip XV s otvrdivačem XV Miješanje: 10 : 3 težinskih dijelova	130	14h
	140	7h
	150	4h
	160	2h
	170	90 min
	180	60 min
	190	45 min
	200	30 min
	220	10 do najviše 60 min
Reduks tekući s pospješivačem Miješanje: 5 : 1 težinskih dijelova	105—110	20 min
	115	15 min
	125	10 min
	135	7 min
	145	5 do najviše 20 min
	165	najviše 8 min
	180	najviše 4 min

U najnovije vrijeme zalijepljeni spojevi izlažu se djelovanju ultrazvuka u svrhu potpunog iskorištenja geometrijskog oblika vanjske lijepljene površine i sa svrhom da se poveća proces kvašenja ljepila. Djelovanje ultrazvuka primjenjuje se samo na svježe zalijepljeni spoj. O temperaturi sušenja ljepila ovisi kvaliteta popunjavanja neravnina osnovnog materijala ljepilom, jer s porastom temperature opada viskozitet ljepila. Visina temperature utječe na vrijeme sušenja, ali samo do stanovite granice. Osim toga, pri dužem djelovanju topline čvrstoća zalijepljenog spoja opada, što ovisi o vrsti ljepila. Prema radnoj temperaturi sušenja ljepila dijelimo na hladna i na topla.

Ljepila su obično jednokomponentna ili dvokomponentna. Dvokomponentna se sastoje od umjetne smole i otvrđivača, koji pomiješan s umjetnom smolom stupa u kemijsku reakciju, pri čemu se smola stvrdne i daje čvrst spoj. Pri upotrebi pojedinih ljepila potrebno je striktno se pridržavati uputa koje daje proizvođač ljepila.

Poznati svjetski proizvođači proizvode ljepila pod nazivima: araldit, reduks, bostik, metalon, hiduks, agomet itd.

ESIH dr. Ivan, diplomirani inženjer kemije

POVRŠINSKA ZAŠTITA

25 POVRŠINSKA ZAŠTITA 836
25.1 VRSTE KOROZIJE I NJENO EKONOMSKO ZNAČENJE 836
25.2 KOROZIVNA SVOJSTVA KONSTRUKTIVNIH MATERIJALA . . . 837
25.3 ZAŠTITNE PREVLAKE 839
25.4 RAZNE METODE ZAŠTITE 846

Literatura

1 — *Balwalov G. T.* i *Turkovskaja A. V.:* Korozija i zaštita metala, Industrijska knjiga, Beograd 1949.
2 — *Akimov G. V.:* Osnovi učenjija o koroziji i zaščite metalov, Metalurgizdat, Moskva 1946.
3 — *Balwalov G. T., Birkgan L. N.* i *Labutin V. P.:* »Spravočnjik galjvanostega, Metalurgizdat, Moskva 1954.
4 — Das Buch vom Rost, Industrie-Verlags-GmbH, Dr. Eduard Joerg, Wiesbaden 1960.
5 — *Machu W.:* Nichtmetallische anorganische Überzüge, Springer Verlag, Wien 1952.

25 POVRŠINSKA ZAŠTITA

25.1 VRSTE KOROZIJE I NJENO EKONOMSKO ZNAČENJE

Površinska zaštita je obrada konstruktivnog materijala u svrhu sprečavanja korozije. Za efikasno provođenje te obrade potrebno je poznavanje osnovnih pojmova o koroziji i korozivnih svojstava konstruktivnih materijala.

Konstruktivni materijal je u praksi izložen kemijskim i fizikalnim utjecajima okoline. Ako su ti utjecaji dovoljno jaki, materijal se troši. To nepoželjno trošenje materijala kemijskim djelovanjem okoline naziva se korozija. Uz nju se često javlja i mehaničko trošenje materijala trenjem, tj. habanje. Po mehanizmu korozija može biti kemijska i elektrolitička (elektrokemijska).

Kemijska korozija zbiva se direktnom kemijskom reakcijom između materijala i okoline, pri čemu nastaju razni spojevi (obično oksidi ili sulfidi). Njen je uzrok afinitet, težnja za kemijskim spajanjem između bar jedne komponente materijala i bar jedne komponente okoline. Na primjer, čelik na zraku kemijski korodira (oksidira) intenzivno iznad 600°C, pri čemu nastaje okujina (crni željezni oksid):

$$3\,Fe + 2\,O_2 = Fe_3O_4$$

Kemijski mogu korodirati metali i nemetali. Metali mogu kemijski korodirati u suhim plinovima. Takva plinska korozija zbiva se pri obradi metala na visokim temperaturama (kovanje, valjanje, kaljenje, zavarivanje), u kotlovskim postrojenjima i u industrijskim pećima, u eksplozivnim motorima itd. Kemijska korozija metala nastaje i u tekućinama koje ne vode električnu struju (neelektroliti). Tako može metal korodirati u mazivu ulju i u tekućem gorivu. Nemetali mogu samo kemijski korodirati (npr. beton u moru, drvo u lužini). Organske nemetale (kožu, drvo, tekstil) razaraju i biokemijski procesi truljenja, pljesnivljenja itd. Plastične mase obično ne korodiraju, nego ih neke tvari fizikalno razaraju uz bubrenje, djelomično ili potpuno otapanje (npr. maziva i tekuća goriva). Kemijsku koroziju naglo ubrzava povišenje temperature. S vremenom ona može biti zakočena stvaranjem kompaktnih korozionih produkata na površini materijala.

Elektrolitička korozija javlja se samo kod metala u električki vodljivim tekućinama (elektrolitima). Njen je uzrok također afinitet, ali on se manifestira kao električki napon, kao tzv. razlika potencijala ili elektromotorna sila između dva metala, između dva mjesta na površini metala ili između metala i elektrolita. Elektrolitičkom korozijom metal najprije postaje slobodni ion, tj. električki nabijen atom, pa tek nakon toga on može s drugim ionima dati spoj. Elektrolitička korozija zbiva se u slatkoj i otpadnoj vodi, u moru, u vodenim otopinama soli, kiselina i lužina, u sokovima biološkog porijekla (znoj, krv, voćni sok), u tlu i vlažnoj atmosferi. Sama atmosfera nije elektrolit, ali u određenim uvjetima iz nje kondenzira na metal film ili kapi vode, koja je elektrolit. Spomenuti mediji nalaze se uz metal u industriji i privredi uopće, kao i u kućanstvu, pa je elektrolitička korozija vrlo raširena. Tako korodiraju mostovi, dizalice, vozila, postrojenja prehrambene i kemijske industrije, podzemni cjevovodi, kućanski aparati itd., tj. praktički sve metalne površine koje ne korodiraju kemijski. Korozija tog tipa redovito je srodna procesima u galvanskom članku baterije za džepnu svjetiljku. Metalni ioni nastaju na manje plemenitim mjestima, pri čemu na njima zaostaju slobodni elektroni. Tako se pri rđanju čelika željezo otapa na anodi u obliku dvovalentnih željeznih kationa (fero-iona). To je anodna oksidacija:

$$Fe = Fe^{++} + 2\,e^-$$

Na katodi se oslobođeni elektroni vežu na vodu i kisik koji je u njoj otopljen, dajući pri tom hidroksilne anione. To je katodna redukcija:

$$2\,e^- + H_2O + 0{,}5\;O_2 = 2\;OH^-$$

Nakon toga nastaju između fero-iona, hidroksilnih iona, vode i kisika sekundarni procesi pa se kao finalni proizvod javlja rđa, trovalentni željezni hidroksid. Brzina elektrolitičke korozije je to veća što je veća razlika potencijala uzrokuje, što je manja polarizacija metalne površine i što je veći otpor strujnog kruga. Polarizacija je kočenje korozivnih procesa na elektrodama, tj. na anodi ili na katodi. Uzroci polarizacije mogu biti različiti. Na primjer, nedostatak kisika otopljenog u vodi izaziva katodnu polarizaciju i time koči rđanje čelika. Otpor strujnog kruga je to veći što je manje vodljiv elektrolit, a može naglo porasti samom korozijom ako nastaju kompaktni korozivni proizvodi. Tako se u sumpornoj kiselini olovo samo zaštićuje slojem svoga sulfata.

Korozivne pojave klasificiraju se često i po raspodjeli na površini materijala. Tu treba razlikovati opću ili ravnomjernu, lokalnu, točkastu ili jamičastu te interkristalnu ili intergranularnu koroziju. Opća korozija zahvaća približno jednako brzo čitavu površinu materijala izloženu agresivnoj sredini. Lokalna korozija se intenzivno razvija samo na dijelu izložene površine. Točkasta korozija (piting) još je uže ograničena pa stvara jamice. Interkristalna korozija širi se u dubinu metala duž granica njegovih zrna. Ta korozija i piting naglo snizuju čvrstoću predmeta. Stoga su te korozivne forme najopasnije.

Ekonomski je korozija vrlo štetna jer smanjuje vrijednost i trajnost industrijske i druge opreme i artikala, poskupljuje njihovo održavanje, uzrokuje zastoje u radu i razne nesreće te snizuje proizvodne kapacitete korodirane i s njom povezane opreme. Korozija u elektrani može izazvati obustavu proizvodnje u čitavom industrijskom bazenu. U rudniku ili na avionu ona može prouzročiti teške nesreće. U kemijskoj i prehrambenoj industriji kvari proizvode. U transportu može uništiti nove proizvode prije nego stignu na odredište. Procjenjuje se da u Jugoslaviji godišnje štete od korozije iznose oko milijardu novih dinara.

25.2 KOROZIVNA SVOJSTVA KONSTRUKTIVNIH MATERIJALA

Vrsta i brzina korozije ovise o vrsti materijala, o stanju njegove površine te o sastavu, koncentraciji, temperaturi i brzini strujanja sredine kojoj je materijal izložen. Osobine materijala u tom pogledu zovu se korozivna svojstva. Upotrebljivost materijala za određenu svrhu uvjetovana je njegovom cijenom te korozivnim i mehaničkim svojstvima. Brzina korozije se najčešće izražava u mm/god. kao dubina njenog godišnjeg prodiranja u materijal. Ovaj se pak smatra upotrebljivim bez dodatne zaštite ako je brzina opće korozije ispod 0,01 mm/god., a druge korozivne forme nisu značajne. Ako je brzina opće korozije između 0,01 i 1 mm/god., odnosno ako se javlja lokalna korozija, piting ili interkristalna korozija, materijal je još upotrebljiv, ali obično uz dodatnu zaštitu. Materijal koji korodira brzinom od 1 do 3 mm/god. primjenjuje se uvjetno, tj. ako nema boljeg ili ako je bolji materijal preskup. Ako je opća korozija još brža, materijal se smatra neupotrebljivim. Oštriji zahtjevi s obzirom na korozivne osobine materijala postavljaju se ako je on predviđen za jako opterećene elemente ili elemente s uskim tolerancijama dimenzija, odnosno za elemente koji u eksploataciji dolaze u kontakt s osjetljivim tvarima (lijekovi, živežne namirnice i sl.).

Osnovna korozivna svojstva važnijih konstruktivnih materijala prikazana su u tablici 1.

Oznake u toj tablici imaju ovo značenje:

+ upotrebljiv
± češće upotrebljiv
∓ češće neupotrebljiv
− neupotrebljiv.

Temperatura u koloni »Vrući plinovi« znači da su iznad nje razorni procesi obično toliko brzi da materijal postaje neupotrebljiv. Podaci u tablici 1. dani su samo u svrhu orijentacije.

Korozivna svojstva nekih konstruktivnih materijala Tablica 1.

Konstruktivni materijal	Agresivni mediji						Specijalni oblici razaranja
	Atmosfera i slatka voda	Slana voda i otopine soli	Kiseline (do 20 %-tne)	Lužine (do 20 %-tne	Vrući plinovi °C	Nafta i njeni derivati	
Ugljični čelik s 0,1% C	∓	∓	−	+	600	±	−
Bakreni ugljični čelik s 0,1% C i 0,3% Cu	±	∓	−	+	600	±	−
Sivo lijevano željezo	∓	∓	−	+	600	±	grafitizacija
Ferosilicij sa 14% Si	+	+	±	+	650	+	−
Cr- i CrNi-čelik s 13% Cr ili s 19% Cr i 10% Ni	+	+	±	+	700—870	+	piting i interkristalna korozija
CrNi-čelik s 25% Cr i 20% Ni	+	+	±	+	1 150	+	kao gore
Krom	+	+	±	+	1 000	+	−
Nikal	±	±	±	+	800	±	−
Bakar	±	±	±	+	700	±	−
Mjed sa 30—42% Zn	±	±	±	±	750	±	decinkacija, sezonski lom
Cink	+	∓	−	−	400	+	−
Kadmij	+	±	−	+	220	+	−
Olovo	+	+	±	−	180	+	−
Kositar (kalaj)	+	+	±	−	120	+	»kuga« amalgam.
Aluminij	+	±	±	−	550	+	−
Magnezij	∓	−	−	+	200	+	−
Titan	+	+	±	+	750	+	−
Srebro	+	+	±	+	850	∓	amalgam.
Zlato	+	+	+	+	950	+	amalgam.
Platina	+	+	+	+	1 650	+	krtost
Rodij	+	+	+	+	1 850	+	−
Drvo	+	±	±	−	80	±	−
Plastične mase	+	+	+	±	60−130	±	−
Guma, prirodna i sintetska	+	+	±	±	70−260	±	starenje
Kamenština, porculan, staklo	+	+	+	∓	60−300	+	−
Ugljen, grafit	+	+	+	±	1 500	±	−

Napomene uz tablicu 1.

- Podaci za kiseline obično ne vrijede za visoke koncentracije jer se u koncentriranim kiselinama materijal često ponaša na specifičan način. Tako ugljični čelik vrlo brzo korodira u razrijeđenoj sumpornoj kiselini, dok je u 70−98%-tnoj kiselini pasivan, tj. praktički uopće ne korodira. Obratno, olovo je stabilno u razrijeđenoj sumpornoj kiselini, a korodira ako joj je koncentracija iznad 85%.
- Grafitizacija je korozija sivog liva kod koje korodira željezo, a zaostaje spužvasti i mehanički slabi grafitni skelet. Ta se pojava javlja u razrijeđenim kiselinama, slanoj vodi i u nekim vrstama tla.
- Neki metali su u prisutnosti kisika ili drugih oksidansa pasivni jer na njihovoj površini postoji oksidni film, koji koči koroziju. Prirodno su u takvu stanju aluminij, krom i nerđajući Cr-čelici i CrNi-čelici. Takvi su metali otporni prema dušičnoj kiselini, koja je jak oksidans. Piting se na nerđajućem čeliku javlja kad on na pojedinim točkama površine zbog nedostatka oksidansa izgubi zaštitni film pa postane lokalno aktivan. Javlja se, na primjer, u slanoj vodi, napose ako je površina metala nečista.
- Interkristalna korozija nerđajućeg čelika nastaje poslije nepovoljne obrade na visokoj temperaturi (npr. nakon zavarivanja) uslijed strukturnih promjena. Ona se javlja u razrijeđenim kiselinama, u slanoj vodi itd.
- Decinkacija je korozija mjedi kod koje se cink otapa a zaostaje spužvast bakreni skelet. Ona nastaje u slatkoj i slanoj vodi kao opća ili lokalna pojava. Može se spriječiti povišenjem sadržaja Cu ili legiranjem s malo Sn ili As.
- Sezonski lom je korozija hladno vučenih mjedenih predmeta u prisutnosti amonijaka, žive ili živinih spojeva. Javlja se često već u skladištima, a sprečava se termičkom obradom, koja uklanja unutrašnje napone.
- Kositrena »kuga« je prijelaz normalnog bijelog u praškasti sivi kositar. To se zbiva na niskim temperaturama.
- Amalgamiranje je stvaranje legura sa živom, tj. fizikalno otapanje metala u živi.
- Platina postaje krta u kontaktu s mnogim elementima s kojima se legira (npr. sa C, S, Si, Sn, Ag, Au, Pb, Sb, Bi, P, B). To se događa na visokim temperaturama. Nju nagrizaju taline lužina.
- Cink je praktički neupotrebljiv iznad 200°C jer mu slabe mehanička svojstva.
- Al-legure su u korozivnom pogledu lošije od čistog aluminija.
- Mg-legure (elektroni) su u korozivnom pogledu bolje od čistog magnezija.
- Guma stari, tj. postaje krta, i to osobito brzo pod utjecajem ultraljubičastog svjetla.

25.3 ZAŠTITNE PREVLAKE

Najrašireniji metoda površinske zaštite je nanošenje prevlaka. Prema osnovnoj tvari koja čini prevlaku razlikuju se metalne, nemetalne anorganske i organske prevlake. Neke služe isključivo za zaštitu (npr. prevlake Zn). Drugim prevlakama nije glavna svrha zaštita. Na primjer, one od tvrdog kroma povisuju tvrdoću ili služe za postizanje potrebnih dimenzija kod pohabanih ili loše obrađenih predmeta. Niklanje ili lakiranje se često izvode da bi se predmet poljepšao. No u svim tim slučajevima važan je i zaštitni efekt jer inače prevlaka ne bi bila trajna.

Prije nanošenja prevlake potrebno je izvršiti **predobradu površine materijala.** Svrha predobrade može biti uklanjanje površinskih nečistoća ili postizanje određenog stanja površine u pogledu njene hrapavosti. Najčešće nečistoće su korozivni produkti (npr. okujina i rđa na čeliku, patina na bakru) i masne tvari koje potječu od tekućina za hla-

denje pri strojnoj obradi, od sredstava za konzerviranje ili od dodira rukama. Metode predobrade dijele se:

1 — na mehaničke metode, kojima je glavna svrha postizanje određenog stanja hrapavosti površine,
2 — na kemijske metode, kojima je glavna svrha uklanjanje korozivnih proizvoda, i
3 — na metode odmašćivanja, kojima je glavna svrha uklanjanje masnih tvari.

U praksi se te metode često kombiniraju tako da se predobrada sastoji od nekoliko operacija. Njihov redoslijed može biti različit. Pri pojedinim postupcima predobrade često se istodobno ostvaruje nekoliko zadataka. Tako se pjeskarenjem postiže određeni stupanj hrapavosti, a skidaju se i korozivni produkti i tanji slojevi masnih tvari.

Mehaničke metode predobrade jesu brušenje i poliranje, grebanje i obrada mlazom. Brušenje i poliranje najčešće se izvode pomoću zrnaca abraziva nanesenih na rotacioni kolut; pri tome se pritisak robe na abraziv (npr. šmirak) ostvaruje ručno ili opругom. Najprije se primjenjuje grublje, a onda sve finije zrno abraziva pa se postiže sve glađa površina. Budući da se rotacijski koluti troše, njihova obodna brzina, tj. brzina obrade, smanjuje se. Da bi se to spriječilo, uvodi se brušenje i poliranje abrazivnom trakom koja se kreće preko dviju remenica, od kojih je jedna radna. Mehanička predobrada sitne robe obavlja se u bubnjevima višekutnog oblika, koji se pune robom i abrazivom uz eventualni dodatak neke tekućine. Pri obradi bubnjevi se okreću 15—70 puta na minutu.

Pri modernim postupcima za obradu sitne robe (Roto-Finish, Trowal) primjenjuju se vibratori i razne kemikalije, čime se obrada znatno ubrzava.

Grebanje se izvodi pomoću četaka ili strugača, ručno ili mehanički. Tvrdi korozivni produkti (npr. okujina) smrve se prije te obrade pomoću ručnih ili pneumatskih čekića. Obrada mlazom izvodi se pomoću prirodnog kremenog ili pomoću umjetnog pijeska, pomoću kaljene čelične sačme, pomoću loma tvrdog liva ili pomoću vode pod visokim pritiskom. Najčešće se primjenjuje pjeskarenje. Kremena prašina može izazvati tešku plućnu bolest silikozu. Kod modernih uređaja (vakublast, uređaj za mokro pjeskarenje i sl.) ta opasnost ne postoji. Obradom pomoću mlaza dobije se relativno hrapava površina.

Najvažnija kemijska predobrada je nagrizanje (dekapiranje) čelika. To se obično čini u 10—15%-tnoj sumpornoj kiselini na otprilike 60°C ili u 10—20%-tnoj solnoj kiselini na sobnoj temperaturi. Da bi se zakočilo otapanje željeza u tim kiselinama, dodaje se mala količina tzv. inhibitora (npr. 1 g/l arsenova oksida). Nagrizanjem se otapa rda i okujina. Ono se može ubrzati istosmjernom strujom, pri čemu se predmeti spajaju s plus-polom ili s minus-polom izvora struje. Čišćenje od okujine može se izvršiti i pomoću plamena ili starenjem. Pri obradi plamenom okujina otpuca i kemijski se promijeni pa se lako ostruže. Starenje je dugotrajno izlaganje robe vlažnom zraku, pri čemu rđa prodre ispod okujine pa je olabavi. Nagrizanje aluminija i njegovih legura provodi se redovito u 10%-tnoj natrijevoj lužini na 20—50°C, a zatim u 30%-tnoj dušičnoj kiselini kod 20°C uz međuispiranje vodom. Ostali metali obično se ne predobrađuju kemijski radi skidanja korozivnih produkata. Posebno mjesto zauzimaju postupci kemijskog i elektrolitičkog poliranja. Kemijsko poliranje obično se obavlja u kiselim otopinama. Tako se, na primjer, aluminij polira u vrućoj smjesi fosforne i dušične kiseline. Bakar i mjed dobivaju sjaj u smjesi dušične i sumporne kiseline (tzv. žuto paljenje). Elektropoliraju se najviše aluminij, nerđajući čelik i mjed. To se radi pretežno u kiselim otopinama uz spajanje predmeta na pozitivni pol izvora struje. Na taj način može se provesti i skidanje srha, oštrenje (npr. britvica), dorada kompliciranih predmeta (npr. zupčanika) itd. Elektropoliranje daje viši sjaj od kemijskog. Ni kemijskim ni elektropoliranjem ne mogu se ukloniti grublje neravnine.

Odmašćivanje se može izvesti organskim otapalima kao što su benzin, triklor-etilen i perklor-etilen. Za grubo odmašćivanje služi i plinsko ulje. Benzin je zapaljiv pa se ne smije grijati. Triklor-etilen i perklor-etilen smiju se grijati pa se upotrebljavaju i za »parno« odmašćivanje, pri čemu se hladni predmeti izlažu toploj pari otapala, koja na

njima kondenzira i odmašćuje. U novije vrijeme primjenjuju se i vodene emulzije benzina koje nisu zapaljive. Za finije odmašćivanje služe tople lužnate otopine, a proces se može ubrzati istosmjernom strujom (elektrolitičko odmašćivanje). Katodno odmašćivanje (na minus-polu) brže je od anodnog (na plus-polu). Odmašćivati se može i u vrućim otopinama deterdženata. U manjim radionicama primjenjuje se odmašćivanje kašom bečkog vapna. Ta kaša sadržava kalcijev i magnezijev oksid i hidroksid te nešto karbonata, a primjenjuje se trljanjem. Odmašćivanje se provodi i spaljivanjem masnih tvari. U novije vrijeme obrzava se odmašćivanje u lužini ili u organskom otapalu primjenom ultrazvuka.

Kvaliteta zaštite postignuta prevlačenjem ovisi prije svega o kvaliteti predobrade.

Metalnim prevlakama obično se zaštićuju čelik i sivi liv. One se nanose raznim postupcima kad se traži metalni izgled površine, otpornost prema trenju, toplinska ili električna vodljivost i sl.

Za prevlačenje cinkom, kositrom i olovom važan je postupak vrućeg uronjavanja, pri kome se roba uronjava u talinu tih metala. Njena temperatura mora biti oko 50° iznad tališta. Očišćena roba obično se unosi u talinu kroz lako taljivi fluks, koji služi za finalno čišćenje i sušenje. Kod tzv. vrućeg cinčanja fluks je amonijev klorid, koji sadržava 2% glicerina i pliva na dijelu cinkove površine. Prije nanošenja olova treba robu pocinčati jer olovo ne prianja uz željezo. Vrućim uronjavanjem mogu se nanositi samo lako taljivi metali. To je visokoproizvodan postupak, ali zahtijeva kontinuiranu proizvodnju. Debljinu prevlake je pri tome postupku teško regulirati.

Difuzivna metalizacija je stvaranje prevlaka difuzijom na visokim temperaturama. To se čini u prašku metala koji daje prevlaku ili u pari nekog njegova spoja. Cinčanje na taj način provodi se u cinkovu prahu s malo cinkova oksida otprilike kod 350°C i zove se šerardiziranje. Difuzivno prevlačenje aluminijem (alitiranje, kalorizacija) obavlja se u smjesi legure željeza i aluminija sa šamotnim brašnom otprilike pri 950°C. Obično se u smjesu doda 2% amonijeva klorida. U tom slučaju se aluminij izlučuje iz para aluminijeva klorida. Difuzivno kromiranje (inkromiranje, kromiziranje, termokromiranje) izvodi se slično kao alitiranje uz upotrebu smjese na bazi ferokroma. Prevlačenje silicijem (termosiliciranje) provodi se u smjesama na bazi ferosilicija ili silicijeva karbida, eventualno u struji klora. Difuzivna metalizacija je spora, ali prevlake vrlo dobro prianjaju.

Iz para metalnog spoja mogu se prevlake dobiti i izlučivanjem metala bez naknadne difuzije (npr. niklanje termičkim raspadom niklenog tetrakarbonila). Osim takve kemijske metalizacije iz pare provodi se i fizikalna parna metalizacija sublimacijom metala u visokom vakuumu. Prevlaka nastaje kondenzacijom metalnih para na hladnu predmetu (npr. proizvodnja reflektora). Važnija je metalizacija prskanjem (šoping-postupak), kod koje se rastaljeni metal strujom plina (obično zraka) raspršuje u kapljice. Struja tih kapljica usmjeruje se prema predmetu i stvara prevlaku. Kao sirovina primjenjuje se metalna žica ili prah. Sirovina se grije plamenom acetilena, električnim lukom ili plazmom (užarenim plinom) pomoću tzv. pištolja. Šoping-postupak je elastičan jer se može primijeniti za obradu velikih predmeta i montiranih konstrukcija, čak i na terenu. Osim toga, on je univerzalan jer se svaki metal može nanijeti na svaku podlogu (pa i na nemetal). Međutim, gubici prskanjem prilično su veliki, a prevlake relativno slabo prianjaju i porozne su. Prianjanje se može poboljšati hrapavljenjem podloge. Deblje prevlake su manje porozne. Metalne prevlake mogu se nanijeti i običnim oblaganjem, navarivanjem, lijepljenjem (npr. ljepilom na bazi epoksi-smola) i utrljavanjem metalnog praha (mitral-postupak za cinčanje). Prevlake se mogu nanijeti i platiranjem, tj. zajedničkim valjanjem, izvlačenjem ili prešanjem osnovnog i pokrivnog materijala (npr. platiranje konstruktivnog čelika nerđajućim čelikom, durala čistim aluminijem).

Galvanotehnika (galvanostegija, elektroplatiranje) je nanošenje metalnih prevlaka elektrolizom, pri čemu je roba na katodi (minus-polu), a kao anoda (plus-pol) služi obično metal koji stvara prevlaku. Elektrolit je vodena otopina kemikalija, među kojima bar jedna mora sadržavati metal koji stvara prevlaku. Napon izvora struje je 4—12 V. Gustoća struje, tj. njena jakost po jedinici površine robe najčešće iznosi 0,5—10 A/dm². Iskorištenje struje izražava se u postocima. To je onaj dio struje koji se upotrebljava za

prevlačenje. Ono iznosi 70—95%, ali je pri kromiranju samo oko 10%. Debljina prevlake računa se na bazi Faradayeva zakona po izrazu:

$$d = \frac{\eta \cdot I \cdot t \cdot A}{96\,500 \cdot n \cdot S \cdot \rho}$$

gdje je d — debljina prevlake u mikronima
η — iskorištenje struje u postocima
I — jakost struje u A
t — vrijeme obrade u sekundama
A — atomska težina metala prevlake
n — valencija metala u elektrolitu
S — površina robe u dm^2
ρ — gustoća prevlake u g/cm^3.

Važniji galvanski postupci jesu pobakrivanje s niklanjem (uz eventualno naknadno tanko, tzv. dekorativno kromiranje), tvrdo kromiranje (debljim slojem), cinčanje, kositrenje, kadmiranje, srebrenje, pozlaćivanje, prevlačenje rodijem i »mesingovanje«. Galvanske prevlake su kvalitetne i debljina im se može točno regulirati, ali je oprema galvanskog pogona prilično skupa. Aluminij i magnezij ne mogu se nanijeti običnim galvanskim metodama.

Bez struje izvana mogu se metalne prevlake iz elektrolita dobiti ionskom izmjenom i katalitičkom redukcijom. Kod obiju postupaka stavlja se roba u otopinu koja sadržava metalne ione. Pri ionskoj izmjeni uvjeti su takvi da je otopljeni metal plemenitiji od osnovnog metala ili nekog metala koji je s njim u kontaktu (npr. aluminij ili cink). Osnovni ili kontaktni metal pri tom se otapa, dajući ione, a oni iz otopine daju prevlaku. Tako se nanose bakar, kositar, srebro i zlato. Instalacija je jeftina, ali su prevlake tanke i porozne. Pri katalitičkoj redukciji u otopini je i tvar koja metalnim ionima može oduzeti naboje i dati prevlaku (reduktor), pri čemu površina robe služi kao katalizator. Tako se izvodi niklanje po postupku Kanigen.

Nemetalne anorganske prevlake mogu se nanositi mehanički i kemijski. Najvažniji postupak mehaničkog nanošenja je emajliranje. Emajli su specijalna stakla za nanošenje na niskougljični čelik ili na sivi liv. Emajl se kupuje u obliku granula, koje se melju u kugličnim mlinovima. Obično se pri tom dodaje glina i vodena otopina nekih soli pa se dobije emajlna kaša, koja se na metal nanosi uronjavanjem i ocjeđivanjem ili prskanjem. Zatim se emajl suši i peče na 800 do 900°C. Redovito se nanosi u dva sloja. prvi je sloj temeljnog emajla, koji sadržava dodatak za vezanje s metalom (npr. kobaltni oksid). U drugom sloju pokrivnog emajla ima tvari koje daju korozivnu stabilnost. Na sivi liv se pokrivni emajl nanosi »pudranjem« u obliku suhog praha, dok je predmet u užarenu stanju. Emajl je antikorozivan, ali je krt i neotporan prema naglim temperaturnim promjenama. Instalacija za emajliranje prilično je skupa.

Kemijski se nanose razni oksidi, fosfati, kromati itd. Najvažniji postupci nanošenja oksida jesu bruniranje čelika i anodizacija aluminija. Najčešće se brunira u vrućoj otopini lužine (otprilike na 140°C) koja sadržava neki oksidans (npr. natrijev nitrat). Pri tome nastaje sloj željeznog oksida, Fe_3O_4, koji je crne boje. Sloj je porozan pa se dodatno premazuje strojnim uljem. Pri anodizaciji (eloksiranju) aluminija i njegovih legura stvara se aluminijev oksid elektrolizom u kiseloj otopini, pri čemu je roba na anodi. Najčešće se radi u razrijeđenoj sumpornoj kiselini na 20°C uz napon od 10 do 14 V i uz gustoću struje od koja 2 A/dm^2. prevlake su bezbojne, a mogu se obojiti vodenom otopinom podesne organske boje, koja pri tom ulazi u pore sloja. Kuhanjem u destiliranoj vodi (tzv. siliranjem) sloj bubri, a pri tome se pore začepe. To se zbiva na kraju procesa. Eloksiranjem se povisuje atmosferska stabilnost i tvrdoća aluminija. Prevlake su krte, a instalacija za eloksiranje je skupa.

Glavne karakteristike važnijih postupaka za nanošenje metalnih prevlaka navedene su u tablici 2.

Važniji postupci nanošenja metalnih prevlaka

Tablica 2.

Postupak	Materijali koji se obično nanose	Karakteristike postupaka i svojstva prevlaka
Vruće uronjavanje	Zn, Sn, Pb	Brz postupak, slabo iskorištenje materijala koji se nanosi, teško je regulirati debljinu sloja, dio prevlake je legura s osnovnim materijalom
Difuzivna metalizacija	Zn (šerardizacija), Al (alitiranje), Cr (inkromiranje), Si (termosiliciranje)	Spor postupak, podesan samo za male predmete. Prilično je lako regulirati debljinu sloja, prevlaka čvrsto prianja, veći dio prevlake je legura s osnovnim materijalom.
Metalizacija iz parne faze (kemijska ili fizikalna)	kemijski: Ni, Zr, Ti, karbidi, nitridi, boridi; fizikalno: Ni, Cr, Ag, Au, Pt	Kompliciran i skupa oprema, upotrebljivo samo za male predmete
Metalizacija prskanjem (šoping)	Zn, Al, nerđajući čelik, monel itd.	Univerzalan postupak u pogledu materijala prevlake i podloge, podesan osobito za velike predmete, čak i na terenu, te za reparaturu i regeneraciju predmeta. Debljina sloja može se grubo regulirati, prevlake su porozne i hrapave.
Oblaganje i platiranje	Pb, nerđajući čelik, Al, Ni, Cu, Ti, Ag, Au	Nemoguće je nanošenje vrlo tankih prevlaka. Za čvrsto prianjanje potrebni su skupi uređaji za valjanje, prešanje ili izvlačenje. Poteškoće pri preradi dobivenog bimetalnog materijala.
Navarivanje	nerđajući čelik, monel, stelit	Prevlake relativno debele i grubo hrapave, strukturne promjene osnovnog materijala u zoni uz prevlaku
Galvanotehnika (elektrolitički postupak)	Cr, Ni, Cu, Zn, Sn, Cd, Ag, Au, mjed	Oprema je prilično skupa, postupak relativno spor, prevlake čiste i kompaktne, debljina sloja lako se regulira, ali nije ravnomjerna
Ionska izmjena (cementacija)	Cu, Sn, Ag, Au	Oprema je jednostavna i jeftina, brz postupak, ali tanke prevlake (do 2 mikrona), poroznost, debljina prevlaka je ravnomjerna, elektrolite nije moguće održavati, struja izvana ne primjenjuje se
Katalitička redukcija (bez struje)	Ni (postupak Kanigen ili Nibodur)	Postupak je relativno spor, debljina sloja lako se regulira, prevlaka je ravnomjerna, elektrolite je teško održavati

prevlačenje. Ono iznosi 70–95%, ali je pri kromiranju samo oko 10%. Debljina prevlake računa se na bazi Faradayeva zakona po izrazu:

$$d = \frac{\eta \cdot I \cdot t \cdot A}{96\,500 \cdot n \cdot S \cdot \rho}$$

gdje je d – debljina prevlake u mikronima
η – iskorištenje struje u postocima
I – jakost struje u A
t – vrijeme obrade u sekundama
A – atomska težina metala prevlake
n – valencija metala u elektrolitu
S – površina robe u dm^2
ρ – gustoća prevlake u g/cm^3.

Važniji galvanski postupci jesu pobakrivanje s niklanjem (uz eventualno naknadno tanko, tzv. dekorativno kromiranje), tvrdo kromiranje (debljim slojem), cinčanje, kositrenje, kadmiranje, srebrenje, pozlaćivanje, prevlačenje rodijem i »mesingovanje«. Galvanske prevlake su kvalitetne i debljina im se može točno regulirati, ali je oprema galvanskog pogona prilično skupa. Aluminij i magnezij ne mogu se nanijeti običnim galvanskim metodama.

Bez struje izvana mogu se metalne prevlake iz elektrolita dobiti ionskom izmjenom i katalitičkom redukcijom. Kod obiju postupaka stavlja se roba u otopinu koja sadržava metalne ione. Pri ionskoj izmjeni uvjeti su takvi da je otopljeni metal plemenitiji od osnovnog metala ili nekog metala koji je s njim u kontaktu (npr. aluminij ili cink). Osnovni ili kontaktni metal pri tom se otapa, dajući ione, a oni iz otopine daju prevlaku. Tako se nanose bakar, kositar, srebro i zlato. Instalacija je jeftina, ali su prevlake tanke i porozne. Pri katalitičkoj redukciji u otopini je i tvar koja metalnim ionima može oduzeti naboje i dati prevlaku (reduktor), pri čemu površina robe služi kao katalizator. Tako se izvodi niklanje po postupku Kanigen.

Nemetalne anorganske prevlake mogu se nanositi mehanički i kemijski. Najvažniji postupak mehaničkog nanošenja je emajliranje. Emajli su specijalna stakla za nanošenje na niskougljični čelik ili na sivi liv. Emajl se kupuje u obliku granula, koje se melju u kugličnim mlinovima. Obično se pri tom dodaje glina i vodena otopina nekih soli pa se dobije emajlna kaša, koja se na metal nanosi uronjavanjem i ocjeđivanjem ili prskanjem. Zatim se emajl suši i peče na 800 do 900°C. Redovito se nanosi u dva sloja. prvi je sloj temeljnog emajla, koji sadržava dodatak za vezanje s metalom (npr. kobaltni oksid). U drugom sloju pokrivnog emajla ima tvari koje daju korozivnu stabilnost. Na sivi liv se pokrivni emajl nanosi »pudranjem« u obliku suhog praha, dok je predmet u užarenu stanju. Emajl je antikorozivan, ali je krt i neotporan prema naglim temperaturnim promjenama. Instalacija za emajliranje prilično je skupa.

Kemijski se nanose razni oksidi, fosfati, kromati itd. Najvažniji postupci nanošenja oksida jesu bruniranje čelika i anodizacija aluminija. Najčešće se brunira u vrućoj otopini lužine (otprilike na 140°C) koja sadržava neki oksidans (npr. natrijev nitrat). Pri tome nastaje sloj željeznog oksida, Fe_3O_4, koji je crne boje. Sloj je porozan pa se dodatno premazuje strojnim uljem. Pri anodizaciji (eloksiranju) aluminija i njegovih legura stvara se aluminijev oksid elektrolizom u kiseloj otopini, pri čemu je roba na anodi. Najčešće se radi u razrijeđenoj sumpornoj kiselini na 20°C uz napon od 10 do 14 V i uz gustoću struje od koja 2 A/dm^2. prevlake su bezbojne, a mogu se obojiti vodenom otopinom podesne organske boje, koja pri tom ulazi u pore sloja. Kuhanjem u destiliranoj vodi (tzv. siliranjem) sloj bubri, a pri tome se pore začepe. To se zbiva na kraju procesa. Eloksiranjem se povisuje atmosferska stabilnost i tvrdoća aluminija. Prevlake su krte, a instalacija za eloksiranje je skupa.

Glavne karakteristike važnijih postupaka za nanošenje metalnih prevlaka navedene su u tablici 2.

Važniji postupci nanošenja metalnih prevlaka

Tablica 2.

Postupak	Materijali koji se obično nanose	Karakteristike postupaka i svojstva prevlaka
Vruće uronjavanje	Zn, Sn, Pb	Brz postupak, slabo iskorištenje materijala koji se nanosi, teško je regulirati debljinu sloja, dio prevlake je legura s osnovnim materijalom
Difuzivna metalizacija	Zn (šerardizacija), Al (alitiranje), Cr (inkromiranje), Si (termosiliciranje)	Spor postupak, podesan samo za male predmete. Prilično je lako regulirati debljinu sloja, prevlaka čvrsto prianja, veći dio prevlake je legura s osnovnim materijalom.
Metalizacija iz parne faze (kemijska ili fizikalna)	kemijski: Ni, Zr, Ti, karbidi, nitridi, boridi; fizikalno: Ni, Cr, Ag, Au, Pt	Kompliciranа i skupa oprema, upotrebljivo samo za male predmete
Metalizacija prskanjem (šoping)	Zn, Al, nerđajući čelik, monel itd.	Univerzalan postupak u pogledu materijala prevlake i podloge, podesan osobito za velike predmete, čak i na terenu, te za reparaturu i regeneraciju predmeta. Debljina sloja može se grubo regulirati, prevlake su porozne i hrapave.
Oblaganje i platiranje	Pb, nerđajući čelik, Al, Ni, Cu, Ti, Ag, Au	Nemoguće je nanošenje vrlo tankih prevvlaka. Za čvrsto prianjanje potrebni su skupi uređaji za valjanje, prešanje ili izvlačenje. Poteškoće pri preradi dobivenog bimetalnog materijala.
Navarivanje	nerđajući čelik, monel, stelit	Prevlake relativno debele i grubo hrapave, strukturne promjene osnovnog materijala u zoni uz prevlaku
Galvanotehnika (elektrolitički postupak)	Cr, Ni, Cu, Zn, Sn, Cd, Ag, Au, mjed	Oprema je prilično skupa, postupak relativno spor, prevlake čiste i kompaktne, debljina sloja lako se regulira, ali nije ravnomjerna
Ionska izmjena (cementacija)	Cu, Sn, Ag, Au	Oprema je jednostavna i jeftina, brz postupak, ali tanke prevlake (do 2 mikrona), poroznost, debljina prevlaka je ravnomjerna, elektrolite nije moguće održavati, struja izvana ne primjenjuje se
Katalitička redukcija (bez struje)	Ni (postupak Kanigen ili Nibodur)	Postupak je relativno spor, debljina sloja lako se regulira, prevlaka je ravnomjerna, elektrolite je teško održavati

Fosfatne prevlake nanose se fosfatiranjem, i to najčešće na čelik. To se radi u fosfornokiselim otopinama cinkova ili manganskog fosfata. Prevlake se sastoje od smjese željeznog i drugih fosfata. Sive su boje i vrlo dobro prianjaju. Hrapave su pa služe kao odlična podloga za nanošenje premaza. Fosfatiranje olakšava hladno valjanje i izvlačenje. Često se fosfatne prevlake naknadno premazuju strojnim uljem.

Kromatne prevlake dobiju se kromatiranjem. Obično se kromatiraju cinkove i kadmijeve prevlake. To se čini u kiselim otopinama koje sadržavaju kromnu kiselinu. Prevlake mogu biti bezbojne, žućkaste ili zelene. Tanke su, ali odlično štite od atmosferske korozije.

Organske prevlake dijele se na one koje se nanose oblaganjem ili nataljivanjem i na one koje se mogu premazivati. Posebnu skupinu čine prevlake koje se nanose radi privremene zaštite (konzervacije).

Oblaganjem se nanose guma i plastične mase. Gumiranje se izvodi prirodnom ili sintetskom mekom ili tvrdom gumom. Na pjeskarenu površinu nanosi se najprije sloj gumenog ljepila, a onda listovi gume. Zatim se vulkanizira, tj. grije pod pritiskom u zraku, vodi ili pari otprilike na 140°C duže vrijeme. Od plastičnih masa nanose se uglavnom termoplasti, tj. mase koje mekšaju na povišenim temperaturama. Najjednostavnije je oblaganje, i to obično pločama polivinil-klorida, koje se lijepe na metal polivinilskim ljepilom. Ploče se spajaju zavarivanjem mekim polivinil-kloridom. Polietilen se najčešće nanosi vrućim prskanjem, koje je analogno metalizaciji prskanjem. Tome je srodno nanošenje polietilena i poliamida fluidizacijom, pri čemu se predgrijani predmet uronjava u vrtlog praškaste plastike i komprimiranog zraka. U novije vrijeme nanose se vrućim prskanjem i neki duroplasti, tj. mase koje očvrsnu pri grijanju (npr. poliesteri, epoksi-smole). Termoplasti se mogu nanositi i navarivanjem. Vrućem nanošenju termoplasta srodno je nataljivanje bitumena na metal. Rastaljeni bitumen nalijeva se i četkanjem razmaže u prevlaku. Poliesterske i bitumenske prevlake često se ojačavaju (armiraju). Bitumen se može armirati jutenim platnom ili vunenim pustom (filcom), ali danas se i bitumen i poliesteri sve više armiraju staklenim ili azbestnim vlaknima. Primjenjuju se također plastične ili bitumenske bandaže za omatanje. Najvažnije organske prevlake daju premazi (sredstva za ličenje), tj. boje i lakovi. Oni se sastoje od organskog veziva, koje daje film prevlake, od anorganskog praškastog pigmenta, koji daje nijansu, i od razrjeđivača, koji snizuje viskozitet radi lakšeg nanošenja. Lakovi se razlikuju od boja po tome što daju veći sjaj i tvrđe prevlake. Treba razlikovati temeljne premaze, koji se nanose direktno na metal, od pokrivnih, koji se nanose na temeljne. Temeljni premazi sadržavaju više pigmenta i on ima zaštitnu ulogu (npr. crveni olovni minij, žuti cinkov tetraoksikromat, sivi cinkov prah itd.). U pokrivnom premazu važnije je vezivo, koje mora biti nepropusno i stabilno u danoj sredini. Najvažnija su veziva sušiva ulja (npr. laneni firnis, tj. otopina ubrzivača sušenja, sikativa, u lanenom ulju), umjetne smole (alkidne, fenolformaldehidne, polivinilne, epoksi itd.), kaučuk (npr. klor-kaučuk), bitumen i kemijski obrađena celuloza (npr. nitroceluloza). Najrašireniji su oleorezinatni premazi, koji sadržavaju i sušivo ulje i umjetnu smolu kao vezivo. Premazi se nanose ličenjem četkom, prskanjem pištoljem, umakanjem, prelijevanjem i valjanjem. Ličenje četkom je sporo, ali se premaz time utrlja u neravnine podloge pa se ono i danas obično primjenjuje za temeljne premaze. Prskanje je mnogo produktivnije, ali se mora dodati više razrjeđivača i gubici su veći. Potrošak razrjeđivača smanjuje se zagrijavanjem premaza otprilike na 60°C (vruće prskanje). Tim se poboljšava kvaliteta premaza. Gubici se mogu smanjiti elektrostatskim prskanjem, pri čemu se kapi premaza u polju visokog napona (oko 100 kV) nabiju suprotno od robe pa ih ona privlači. Pri umakanju i prelijevanju radi se brzo, ali su prevlake neravnomjerne. Prelijevanje uz naknadno izlaganje parama razrjeđivača (postupak »flow-coating«) daje mnogo bolje prevlake. Ličenje valjcima mnogo je brže od ličenja četkama, ali dolazi u obzir samo za veće ravne ili slabo zakrivljene površine. Premaz se suši isparavanjem razrjeđivača i eventualno nekim kemijskim procesima (npr. polimerizacijom). Sušenje se obavlja na sobnoj temperaturi (npr. kod uljnih boja) ili čak na 180°C (npr. kod »pečenih« lakova na bazi duroplasta).

Posebna vrsta premaza su disperzne boje, kod kojih je umjetna smola raspršena u nekoj tekućini. Napose je povoljno ako je ta tekućina voda (tzv. vodene boje).

Sredstva za konzerviranje metala između operacija obrade, pri skladištenju i transportu ili u »mrtvoj« sezoni također su organske prevlake. Ovamo idu zaštitna ulja i masti na bazi rafiniranih mazivih ulja. Ta sredstva sadržavaju antikorozivne dodatke (aditive), a često i vodoodbojne tvari tako da se mogu konzervirati i vlažni predmeti. Zaštitni fluidi su otopine zaštitnih ulja i drugih tvari (npr. bitumena) u benzinu. Prednost im je da se mogu prskati. Primjenjuju se i vodene emulzije zaštitnih ulja. Za konzerviranje služe i privremeni lakovi koji se lako otapaju ili ljušte. Tako se, na primjer, bitumenski lakovi otapaju benzinom, a neki lakovi na bazi umjetnih smola dadu se ljuštiti. Roba se može konzervirati i uronjavanjem u taline nekih smola i voskova.

Glavne karakteristike važnijih postupaka za nanošenje anorganskih nemetalnih i organskih prevlaka navedene su u tablici 3.

Kvaliteta zaštitnih prevlaka kontrolira se vizuelno i određivanjem nekih njihovih svojstava (debljine, poroznosti, moći prianjanja, korozivnih svojstava).

Važniji postupci nanošenja nemetalnih prevlaka Tablica 3.

Postupak	Materijal koji se prevlači i način nanošenja	Karakteristike postupka i svojstva prevlaka
Emajliranje	Na niskougljični čelik: vlažni postupak, uronjavanje s ocjeđivanjem ili prskanje; na sivi liv: suhi postupak, »pudranje« praškom.	Skupa oprema, nanošenje dvoslojno, najčešće za kućanstvo i procesnu opremu; prevlaka borsilikatno staklo, antikorozivno, ali krto i neotporno na nagle temperaturne promjene, na čeliku debljina oko 0,2 mm, na sivom livu oko 2 mm.
Bruniranje	Konstruktivni čelik tretira se u vrućoj lužini oksidansima, u talini oksidansa ili u vrućim plinovima.	Prevlaka crna, pretežno Fe_3O_4, debljina sloja obično do 2 mikrona, slabo antikorozivno, pa se još tretira uljem; prevlaka krta i porozna, najčešće za vojnu opremu i optičke instrumente.
Fosfatiranje	Konstruktivni čelik, Zn ili Al tretiraju se u fosfornokiselim otopinama.	Debljina prevlaka obično 1—10 mikrona, sastoje se od raznih fosfata, pri čemu sudjeluje i osnovni metal. Odlična podloga za ulja, boje i lakove. Prianjanje vrlo dobro.
Kromatiranje	Zn-prevlake i Cd-prevlake ili Mg-legure tretiraju se u kromatnim otopinama.	Obično vrlo tanke prevlake, koje odlično štite od atmosferske korozije. Vrlo brz postupak (5—50 s), oprema jednostavna.
Anodizacija (eloksiranje)	Al se tretira anodno, tj. na (+)-polu u kiselim otopinama.	Najvažniji postupak zaštite aluminija, prevlake debele 10—25 mikrona, tvrde, krte i ravnomjerne. Oprema je prilično skupa. Prevlake se mogu obojiti podesnim anilinskim bojama.
Gumiranje	Pjeskareni ili mjedi prevučeni čelik oblaže se gumom i vulkanizira.	Primjenjuje se modificirana prirodna ili sintetska guma. Prevlake debele 2 mm i više, otporne na udar i kiselostalne, neotporne na ultraljubičasto svjetlo i na »starenje« (osobito pri povišenim temperaturama).

(nastavak) Tablica 3.

Postupak	Materijal koji se prevlači i način nanošenja	Karakteristike postupka i svojstva prevlaka
Nanošenje plastičnih masa	Čelik se oblaže plastičnim masama uz lijepljenje. Primjenjuje se i toplo prskanje, fluidizacija, navarivanje itd.	Najčešće se nanose termoplastične mase, koje su otporne prema mnogim kiselinama i drugim elektrolitima na umjerenim temperaturama. Osobito je važno prevlačenje polivinil-kloridom i polietilenom. Prevlake su debele 0,2—5 mm.
Bitumenizacija	Čelik se tretira nalijevanjem i četkanjem bitumena.	Primjenjuju se najviše za zaštitu od korozije u tlu. Često se prevlake armiraju staklenim vlaknima, plastičnim masama ili platnom; prevlake su debele 0,5—10 mm.
Bojenje i lakiranje	Konstruktivni čelik boji se ili lakira ličenjem pomoću četke, prskanjem pomoću komprimiranog zraka ili bez njega na hladno ili na toplo, elektrostatičkim prskanjem, uronjavanjem, prelijevanjem, nanošenjem valjcima.	Za profilirane predmete i velikoserijsku proizvodnju preporučuju se elektrostatičko ili vruće prskanje, odnosno prelijevanje uz izlaganje parama razrjedivača. Svojstva ovise o vezivu i pigmentu. Kao veziva služe sušiva ulja, umjetne smole, nitroceluloza, guma itd., a kao pigmenti anorganske tvari. Nanošenje se izvodi višeslojno (temeljni i pokrivni naliči). Debljina cijelog sistema 0,1—0,2 mm; potrošnja boje obično 0,1—0,2 kg/m².
Konzerviranje prevlačenjem	Razni metali konzerviraju se među ostalim premazivanjem, prskanjem i uronjavanjem.	Primjenjuju se najčešće sredstva na bazi derivata nafte uz antikorozivne i antioksidativne dodatke. Dijele se na zaštitna ulja, masti i fluide. Rok zaštite u vanjskoj atmosferi: 15 dana do 12 mjeseci.

25.4 RAZNE METODE ZAŠTITE

Antikorozivna zaštita može se izvesti **smanjenjem agresivnosti medija.** Tako možemo pri ambalažiranju smanjiti agresivnost zraka nepropusnim zaštitnim omotima. Agresivne tvari u omotu brzo se potroše, a nove ne mogu prodrijeti kroz omot. Za to se primjenjuju navošteni, parafinirani ili bitumenizirani papiri te folije od polietilena, polivinil-klorida ili aluminija. Primjenjuju se i višeslojni materijali, npr. polietilenom jednostrano kaširana, tj. oblijepljena Al-folija. Poseban način omatanja je kokoniziranje, stvaranje kukuljice od polivinilne mase oko predmeta prskanjem njene otopine. Dodatno se u omote stavlja desikans ili parni inhibitor. Desikansi su higroskopne tvari koje suše atmosferu u omotu. Najvažniji od njih je silikagel, $SiO_2 \cdot nH_2O$, koji može primiti vlagu u količini od 35% vlastite težine, a lako se regenerira grijanjem na 120°C. Parni inhibitori su čvrste tvari koje lako sublimiraju. Njihove pare apsorbira film vlage koji eventualno postoji na metalu, pa dolazi do inhibicije, tj. do kočenja korozije. Najpoznatiji je parni inhibitor VPI-260 firme »Shell«. Ako je vanjska ambalaža hermetična, može se izvršiti i zaštita inertnom atmosferom (npr. dušikom ili argonom). Smanjenje agresivnosti plinova ne primjenjuje se samo pri pakovanju. Desikansi se, na primjer, i inače upotrebljavaju za sušenje plinova. U industrijskim pećima primjenjuje se često

neagresivna atmosfera (dušik, argon, amonijak) ili vakuum. Zaštitni plinovi (argon i helij) upotrebljavaju se i pri elektrolučnom zavarivanju, a vakuum kod žarulja.

Tekućinama se može smanjiti agresivnost uklanjanjem agresivnih komponenata ili dodavanjem inhibitora. Kisele tvari u tekućini mogu se neutralizirati natrijevom lužinom ili vapnom. Za čelik je optimalno da pH bude oko 8,5. U tehničkoj vodi najčešća agresivna komponenta je otopljeni kisik. On se uklanja fizikalno (degazacija, deaeracija) ili kemijski (deaktivacija). Degazacija se provodi grijanjem jer pri tom opada topljivost plinova u tekućinama. Voda mora imati što veću površinu da bi kisik iz nje lakše izišao. Stoga se ona raspršuje u fine kapi ili se prelijeva preko plitkih posuda. Uz visok vakuum degazacija se može izvesti i na niskoj temperaturi. Postoji mogućnost da se kisik ukloni strujom drugog plina (npr. dušika). Deaktivacija se izvodi pomoću željezne strugotine, natrijeva sulfita ili hidrazina. Te tvari oduzimaju vodi kisik. Najpovoljniji je hidrazin jer daje pri tom bezopasne produkte (dušik i vodu). Danas se najčešće primjenjuje kombinirano fizikalno i kemijsko uklanjanje kisika (napose pri napajanju visokotlačnih kotlova). Inhibitori korozije primjenjuju se pri kiselinskom nagrizanju, pri rafinaciji nafte, u sredstvima za konzerviranje u vodi i drugim tekućinama, za hlađenje (u slanim otopinama, u antifriz-smjesama, u sredstvima za hlađenje pri strojnoj obradi) itd. U kiselim i nevodenim medijima primjenjuju se češće organski inhibitori (npr. škrob, butindiol ili tiokarbamid pri nagrizanju u sumpornoj ili u slanoj kiselini, oktadecilamin u nafti). U približno neutralnom vodenom mediju važniji su anorganski inhibitori (npr. natrijev nitrat, kromat ili bikromat). Inhibitori moraju biti efikasni u niskim koncentracijama. Stupanj djelovanja im je 80—90%, što znači da usporavaju koroziju 5—10 puta.

Katodna zaštita primjenjuje se u pomorskoj privredi (npr. za brodove), pri podzemnim konstrukcijama (npr. kod cjevovoda) i kod nekih industrijskih uređaja (npr. izmjenjivača topline). Pri tom se predmet učini katodom, koja ne korodira. To se može izvesti spajanjem s neplemenitijim metalom, pa nastaje galvanski članak (protektorska zaštita). Kao anoda služi cink, Mg- ili Al-legure. Druga je metoda spajanje predmeta s minus-polom izvora struje, pri čemu se kao anoda spaja staro željezo, grafit ili sl. Prva je metoda pogodnija za male instalacije i vodljivije medije. Galvanske anode (protektore) i topljive anode pri sistemu s vanjskim izvorom struje (staro željezo) troše se pa ih treba mijenjati. Nerđajući čelik može se anodno zaštititi.

U praksi su vrlo važne i razne konstruktivne i tehnološke zaštitne mjere (npr. hlađenje termičkih uređaja, čišćenje strojeva, uklanjanje agresivnih para ventilacijom, poliranje sa svrhom da se smanje površine izložene mediju i olakša čišćenje, racionalno kombiniranje materijala, izbjegavanje kompliciranih profila, oštrih uglova, pukotina i sl. da bi se spriječila lokalna korozija i lakše provela zaštita, protunaponsko žarenje, sprečavanje vibracija, izbjegavanje lutajućih struja, preventivno održavanje itd.). Remontni ciklus treba iskoristiti za zaštitu opreme i za stjecanje iskustva na tom području. Zaštitne metode često se kombiniraju (npr. podvodni dio broda oboji se i katodno štiti). Prema tome, ispravna zaštita materijala obuhvaća čitav sistem mjera, koje se međusobno nadopunjuju.

ŽGANEC Željko, dipl. inženjer strojarstva

PRERADA PLASTIČNIH MASA*

26.01 OSNOVI PRERADE PLASTIČNIH MASA 850
26.02 INJEKCIJSKO BRIZGANJE 850
Bojenje, sušenje i predgrijavanje granulata — Doziranje — Plastificiranje — Potiskivanje — Kalupljenje — Hlađenje odljevaka — Izbacivanje odljevaka
26.03 PREŠANJE 857
Načini — Tehnologija prerade — Dorada otpresaka — Strojevi za preradu
26.04 EKSTRUDIRANJE PLASTIČNIH MASA 860
Proces — Izvlačenje profila i cijevi — Oblaganje metalne žice plastičnom masom — Izrada puhanih proizvoda, plastične folije puhanjem i esktrudiranjem, traka i ploča — Nanašanje plastičnih masa na podlogu (kaširanje)
26.05 OBLIKOVANJE GOTOVIH PROIZVODA NA TOPLO (TERMO OBLIKOVANJE) 864
Oblikovanje savijanjem, izvlačenjem, prešanjem u kalupu
26.06 SINTROVANJE U VRTLOGU 868
26.07 NANAŠANJE PLASTIČNIH MASA PLAMENIM ŠTRCANJEM . . . 869
26.08 OBRADA PLASTIČNIH MASA SKIDANJEM STRUGOTINE 871
26.09 POSTUPCI DOTJERIVANJA POVRŠINA 871
Završno brušenje i poliranje — Lakiranje — Površinsko bojenje — Metalizacija — Galvanizacija — Flokiranje — Štampanje — Utiskivanje
26.10 SPAJANJE ELEMENATA OD PLASTIČNIH MASA 874
Vijčani spoj — Zakovice — Stezni spoj — Lijepljenje — Zavarivanje
26.11 PRERADA EKSPANDIRAJUĆEG POLISTIRENA 882
Predekspandiranje — Konačno oblikovanje
26.12 PRERADA POLIESTERSKIH SMOLA 883
Priprema smjese — Ručni postupak — Nanošenje prskanjem — Prerada fleksibilnom vrećom i u autoklavu — Prešanje u zatvorenom kalupu — Prerada prethodno impregniranom armaturom

Literatura

Levi B.: Tehnologija prerade plastičnih masa, Tehnička knjiga, Beograd 1965.
Čatić I.: Prijedlog o jedinstvenim nazivima za postupke prerade plastičnih masa, Kemija u industriji 1, 3, 6/64. g.
Kunststoff-Taschenbuch; Carl Hanser, München, 15. izdanje, 1961.
Stoeckhert K.: Verarbeitung von Kunststoffen, Carl Hanser, München 1964.
Schrader: Kunststoffverarbeitung und Schweissung, VEB, Leipzig 1963.
Zickel H.: Das spanabhebende Bearbeiten der Kunststoffe, 1963.
Glanvill A. i *Denton E.:* Injection — Mould Design Fundamentals I i II dio The Machinery Publishing, London 1963.

Časopisi

Kemija u industriji — Kunststoff Berater — Modern Plastics

* Materija je pripremljena za tisak 1967. god. Do izlaska knjige tehnologija prerade plastičnih masa doživjela je određeni napredak.

26 PRERADA PLASTIČNIH MASA

26.01 OSNOVI PRERADE PLASTIČNIH MASA

Prerada plastičnih masa u finalne proizvode ili u poluproizvode izvodi se specijalnim postupcima, koji se mogu podijeliti u više karakterističnih skupina. Svaki postupak sastoji se od jedne ili više različitih faznih operacija. Pojedine od tih operacija mogu biti identične za više skupina. Neki od postupaka prerade identični su s konvencionalnom tehnologijom prerade metala, dok su mnogi specifični za plastične mase.

Kad ćemo primijeniti koji postupak, to ovisi o više faktora, od kojih su svojstva materijala najčešća polazna točka za njihovo odabiranje. Plastične mase mogu se prikladno razvrstati na bazi nekih karakterističnih zajedničkih svojstava u tri glavne skupine. To su termoplasti, termostabilne plastične mase (duroplasti) i armirane plastične mase. **Termoplasti** su one plastične mase koje se mogu ponovno omekšavati (plastificirati) i otvrdnjavati putem grijanja i hlađenja. **Termostabilne plastične mase** mogu se samo jedanput plastificirati, i to u relativno kratkom vremenu, nakon čega odmah prelaze u stalno kruto stanje. **Armirane plastične mase** sastoje se od neke vrste plastičnih masa, bilo iz skupine termoplastičnih ili termostabilnih i armature. Kao armatura obično se upotrebljavaju tekstil, stakleno vlakno i sl.

Od bitnih utjecajnih faktora za odabiranje postupka prerade jesu **veličina serije** i **oblik proizvoda,** no ipak promatrano s obzirom na **svojstva materijala.** Općenito se velike serije srednje veličine komada i kompliciranog oblika proizvoda iz termoplastičnih masa izrađuju postupkom ubrizgavanja putem injekcije. Velike serije umjereno kompliciranih oblika proizvoda iz termostabilnih plastičnih masa najekonomičnije se proizvode postupkom (direktnog ili posrednog) prešanja. Srednje ili male serije proizvoda umjereno kompliciranog oblika često se najekonomičnije proizvode postupkom obrade skidanja strugotine na konvencionalnim alatnim strojevima. Taj postupak je pogodan kad se zahtijevaju uske tolerancije.

Proizvodi s velikim površinama i s velikim radijusima zakrivljenosti obično se izrađuju termooblikovanjem iz termoplastičnih folija ili iz ploča.

Standardni oblici poluproizvoda — folije, ploče, šipke, cijevi, profili i sl. — proizvode se postupkom ekstrudiranja kao osnovnom radnom operacijom u nizu ostalih popratnih da bi se dobio željeni proizvod.

Armirane plastične mase, i to u prvom redu poliesterske smole i epoksi-smole, prerađuju se kontaktnom metodom ili štrcanjem pri izradi proizvoda malih serija i većih površina. Ako je proizvod kompliciranog oblika, odnosno ako se na nj postavlja zahtjev veće čvrstoće, prerađuje se postupkom fleksibilne vreće, namatanjem prethodno impregnirane armature u kataliziranoj smoli oko modela, odnosno provlačenjem kroz profilirane matrice i ubrizgavanjem putem injekcije.

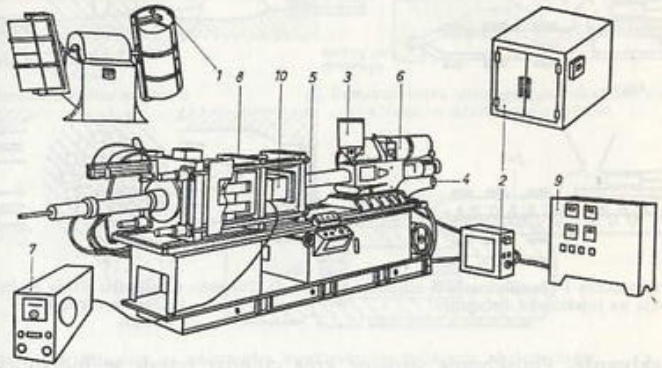
Armirane termoplastične mase prerađuju se postupkom ubrizgavanja injekcijom a termostabilne prešanjem.

Specijalne postupke prerade plastičnih masa za izradu nekog proizvoda određuju u prvom redu svojstva materijala i oblik u kojem se nabavlja sirovina, kao i funkcija što je proizvod treba da ima u svojoj eksploataciji.

26.02 INJEKCIJSKO BRIZGANJE

Na temelju svojstava termoplastičnih masa, da se grijanjem mogu dovesti u plastično stanje, a da pri tome ne mijenjaju osnovna kemijska svojstva te da uz stanovit pritisak dobro ispunjavaju kalupne šupljine, razvila se tehnologija ubrizgavanja putem injekcije. Uz te glavne faze procesa javljaju se popratne, prethodne i naknadne radne operacije.

26.021 Bojenje granulata. Na ① prikazan je **tehnološki put** od granulata do gotova proizvoda. Sirovina koja se upotrebljava za preradu nabavlja se u obliku granula. Može se nabaviti u prirodnoj (mlječnoj) boji ili obojena u željenoj boji i nijansi. Ako je potrebno granulat prethodno **obojiti,** za tu fazu posla upotrebljava se bubanj za bojenje ①. Po propisanom receptu u nj se stavljaju granulat prirodno obojen, i određena boja. To je tzv. suho bojenje. Rotiranjem ekscentrično postavljenog bubnja valjaju se i međusobno taru granule. Uslijed trenja javlja se na površini elektrostatski naboj koji privlači praškastu boju. Dugim stajanjem prije konačne upotrebe taj naboj nestaje pa se, prema tome, gubi i ravnomjernost obojenja.



① Tehnološki proces prerade injekcionim brizganjem
(1 — suho bojenje u bubnju, 2 — ormar za sušenje i predgrijavanje, 3 — lijevak, 4 — doziranje materijala, 5 — cilindar za plastificiranje, 6 — hidraulički cilindar za ubrizgavanje, 7 — uređaj za kontrolirano hlađenje kalupa, 8 — sistem za izbacivanje, 9 — kontrolni ormar, 10 — kalup)

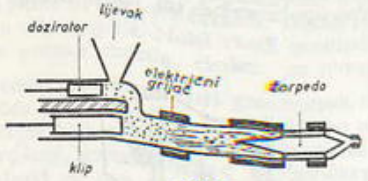
26.022 Sušenje granulata. Mnoge termoplastične mase imaju svojstvo higroskopnosti. Postotak vlage koju upiju pojedine vrste iznosi i do 8%. Proizvođač osigurava prerađivača tako da primjenjuje pakovanje koje zaštićuje granulat od utjecaja vlage.

Najpogodnije je pakovanje u hermetski zatvorenim limenim kantama i bačvama. Najosjetljivije plastične mase jesu: polikarbonati, poliamidi, acetatna celuloza, ABS polimeri. Kako vlaga štetno utječe na daljnji tehnološki postupak, potrebno ju je ukloniti. Takvi materijali **suše** se u specijalnim ormarima za sušenje ②. U slojevima od 2 do 5 cm granulat se razastre na sita u takvu ormaru, a prisilnom cirkulacijom toplog zraka odvija se proces sušenja.

26.023 Predgrijavanje granulata. Ormari za sušenje služe ujedno i za predgrijavanje nekih vrsta sirovina, koje predgrijane, radi bolje prerade, moraju doći u cilindar za plastificiranje. Predgrijavanje sirovine može se izvršiti i u specijalno adaptiranom lijevku ③ koji se posebno grije. Kombinacija rada s ormarom i grijanim lijevkom je najpovoljnija jer se ne gubi na kontinuitetu.

26.024 Doziranje. ③ na stroju za ubrizgavanje injekcijom služi kao ulaz granulata u stroj, pa i kao spremište one količine materijala koja neposredno treba da ide na preradu. Kapaciteti lijevaka ovise o veličini stroja. Iz lijevka granulat propada na dozimetar, koji služi za točno doziranje one količine koja je potrebna za jedan radni ciklus. Dozimetri rade na volumenskom ili težinskom principu. Taj drugi je mnogo precizniji. O točnosti doziranja ovisi kvaliteta otpreska.

26.025 Plastificiranje. Doziranа količina propada u plastifikator. To je grijani cilindar u kojem se **otapa** plastična masa (2). Grijanje je osigurano električnim grijačima, čije ukopčavanje i iskopčavanje reguliraju kontaktni termometri ugrađeni u sam stroj ili u kontrolni pridodani ormar (9). Kako od momenta propadanja granulata pa do izlaska iz cilindra prode više radnih ciklusa, na temelju toga treba podesiti i temperature po zonama, već prema vrsti plastične mase, vrsti stroja i odljevku.



② Sistemi transporta i plastificiranja u cilindru stroja za injekcijsko brizganje

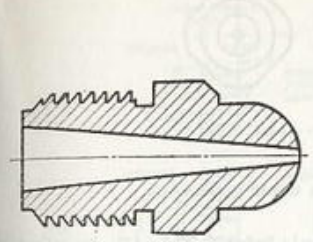
③ Torpedo u cilindru stroja za injekcijsko brizganje s klipom

26.026 Potiskivanje. Potiskivanje sirovine kroz cilindar izvodi se hidrauličkim putem (6) preko klipa ② ili beskonačnog vijčanog transportera-puža ②. Strojevi s klipnim pritiskivanjem imaju u cilindru tzv. torpedo ③, koje služi da otopljenu masu prije izlaska homogenizira u temperaturnom smislu pa, također, da osigura i jednolikost eventualnog prethodnog suhog bojenja u bubnju. Strojevi s pužnim potiskivanjem osiguravaju mnogo bolje ono za što torpedo služi kod klipnih. Potrebni pritisci (tablica I) za brizganje dokazuju prednosti što ih strojevi s pužnim ubrizgavanjem imaju pred klipnima.

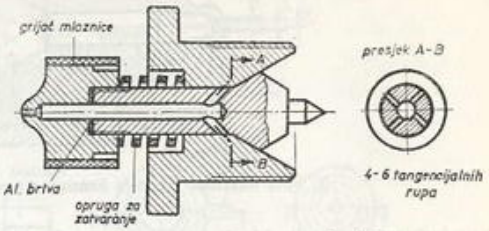
Specifični pritisci potrebni za injekcijsko ubrizgavanje Tablica 1.

Vrsta termoplastične mase	Potreban specifični pritisak brizganja kod klipnih strojeva kp/cm²	Potreban specifični pritisak brizganja kod pužnih strojeva u kp/cm²
Polistiren	1 300	390
Polimetakrilati	1 400	430
Celulozni acetat	1 300	360
Poliamid 6,6	1 400	390
Polietilen gustoće do 0,925	800	280
Polietilen gustoće od 0,926 do 0,940	900	540
Polietilen preko 0,940	1 350	540
Tvrdi PVC	2 500	800
Mekani PVC	900	480
Poliacetal	2 000	650

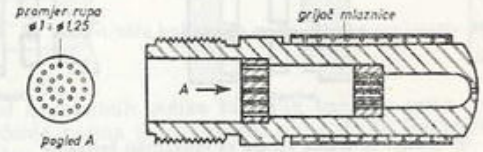
26.027 Kalupljenje. Na izlazu iz cilindra nalazi se **mlaznica** ④, ⑤ i ⑥. To je suženi otvor koji povećava brzinu istjecanja i ubrizgavanja u kalup. Materijali s visokim gradijentom tečenja (npr. poliamidi) tekli bi stalno i bez djelovanja pritiska u cilindru kroz



④ Standardna izvedba mlaznice

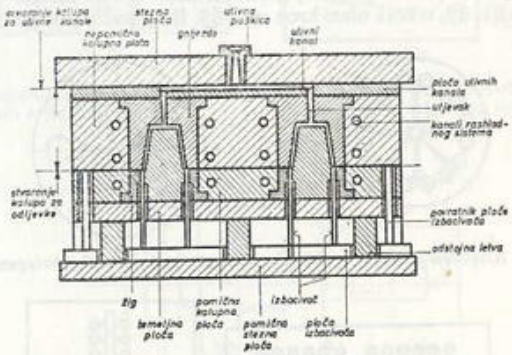


⑤ Samozatvoriva mlaznica za plastične mase s visokim gradijentom tečenja



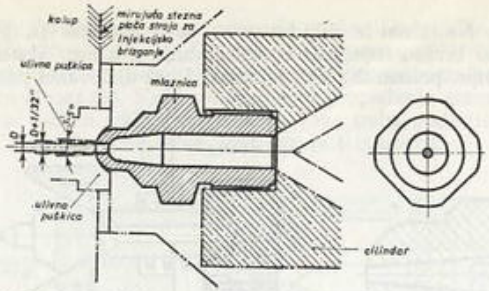
⑥ Mlaznica sa umetnutim mrežicama za miješanje obojene mase

standardni tip mlaznice ④. Sprečavanje tog istjecanja osigurano je konstruktivnom izvedbom prema ⑤. Dodavanjem posebne mrežice u mlaznicu ⑥ osigurava se kod klipnih strojeva dobro miješanje suho obojene sirovine.



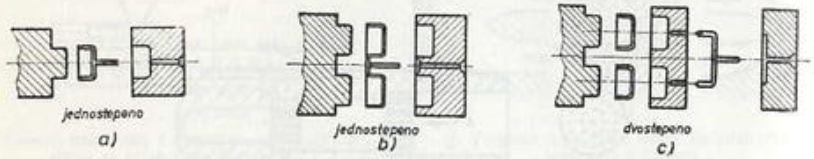
⑦ Kalup za inekcijsko brizganje

Mlaznica je uska veza između stroja i kalupa ⑦. Otvor na mlaznici mora biti manji od onog na ulivnoj puškici kalupa ⑧. Kalupi služe da dadu konačan oblik odljevku. Po broju jezgara dijele se na kalupe s jednom i na one s više jezgara. Prema načinu otvaranja dijele

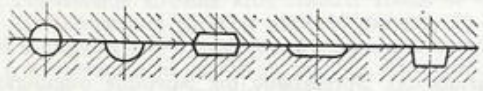


⑧ Spoj mlaznice i otvora konusnog provrta ulivne puškice

se na jednostepena ⑨a i b ili na dvostepena ⑨c otvaranja kalupa. Taj način konstrukcije ovisi o broju kalupnih šupljina i o načinu ulijevanja. Otopljena sirovina ulazi u kalup

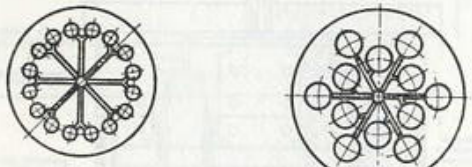


⑨ Sistemi otvaranja kalupa za injekcijsko brizganje

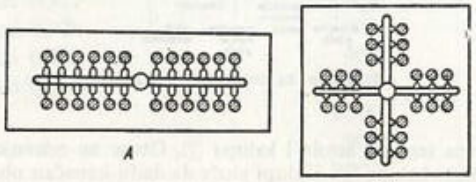


⑩ Preporučljivi profili ulivnih kanala

kroz konusni provrt u ulivnoj puškici, grana se kroz ulivne kanale ⑩ do rasporedenih kalupnih gnijezda ⑪, ⑫, u koja ulazi kroz ušća ⑬. Bolji način polaganja kalupnih šupljina

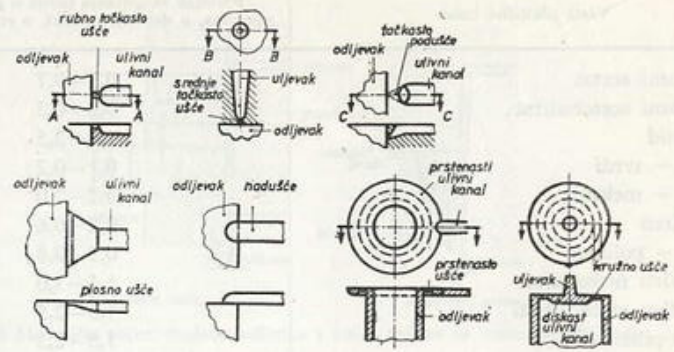


⑪ Raspored gnijezda u okruglom kalupu za injekcijsko brizganje



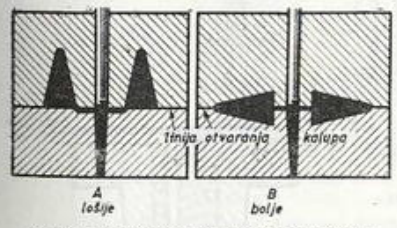
⑫ Raspored gnijezda u četvrtastom kalupu za injekcijsko brizganje

u odnosu prema crti otvaranja kalupa, koji omogućuje da se šupljine bolje popunjavaju i da plastificirana plastična masa bolje teče, prikazan je na ⑭b. Način prikazan na ⑭a

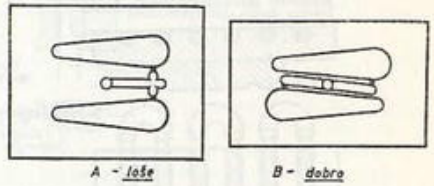


⑬ Tipovi ušća kod kalupa za injekcijsko ubrizganje

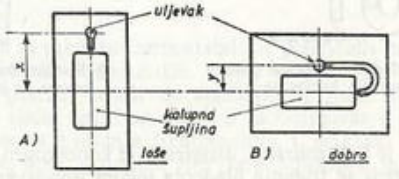
lošiji je. Raspored nepravilnih oblika kalupnih šupljina treba izvesti radi jednoličnije raspodjele opterećenja prema ⑮b. Uljevak treba da je što bliži presjecištu simetrale kalupa, kao na ⑯b.



⑭ Razmještaj kalupnih šupljina u odnosu prema liniji otvaranja kalupa



⑮ Raspored više nepravilnih oblika kalupnih šupljina u kalupu za injekcijsko brizganje



⑯ Smještaj uljevka u odnosu prema centru kalupa za injekcijsko brizganje

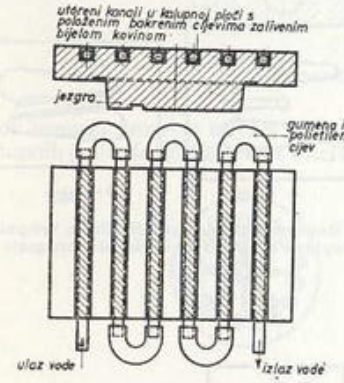
Prilikom dimenzioniranja kalupnih jezgri i gnijezda potrebno je paziti da se plastične mase hlađenjem **skupljaju** (tablica 2).

Postotno područje skupljanja nekih vrsta plastičnih masa

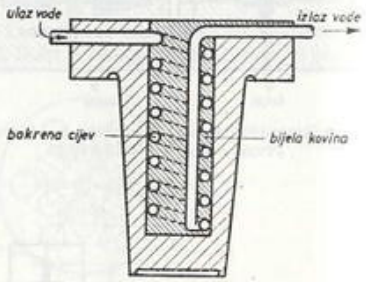
Tablica 2.

Vrsta plastične mase	Postotak skupljanja (ovisi o gabaritnim mjerama, o debljini stijenki, o režimu prerade)
Celulozni acetat	0,3—0,7
Celulozni acetobutirat	0,2—0,5
Poliamid	1,0—2,5
PVC — tvrdi	0,1—0,2
PVC — mekani	0,2—2,0
Polistiren	0,2—0,6
ABS — polimer	0,3—0,8
Polietilen niskotlačni	1,5—3,0
Polietilen visokotlačni	1,5—2,5
Polipropilen	1,5—2,5
Polikarbonat	0,5—0,7
Poliacetal	oko 2,5

26.028 Hlađenje odljevaka u kalupu. Popunivši šupljinu kalupne jezgre, otopljena plastična masa počinje se prisilno hladiti ⑦, ⑰ i ⑱. Hlađenje može biti vodeno ili zračno. Efikasnije je ono prvo, dok se to drugo primjenjuje samo u onim slučajevima kad vodeno nije moguće konstruktivno riješiti. Hlađenje može biti strogo kontrolirano ① do ⑦.



⑰ Sistem vodenog hlađenja kalupne ploče kalupa za injekcijsko brizganje

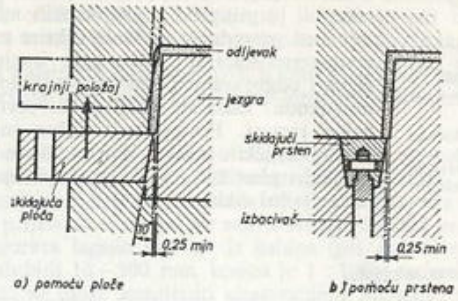


⑱ Sistemi vodenog hlađenja jezgre kalupa za injekcijsko brizganje

Trajanje hlađenja, ako je kontrolirano, dirigirano je kontaktnim osjetljivim termometrom. U većini slučajeva odredi se trajanje hlađenja tokom uhodavanja procesa, a kontaktnim satnim mehanizmom odredi se moment otvaranja kalupa.

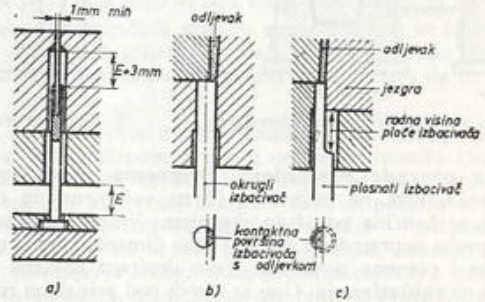
26.029 Izbacivanje odljevaka. Završna faza tehnologije prerade injekcijskim brizganjem započinje otvaranjem kalupa, što prisilno radi pomična ploča — nosač alata samog stroja. Došavši u krajnji položaj, nepomični izbijač, učvršćen na stroju, gurne ploču izbacivača

⑦, koja aktivira sistem za izbacivanje ① do ⑧ odljevaka iz kalupa. Neki mehanički sistemi izbacivanja prikazani su na ⑲ i ⑳. Mnogo se upotrebljava i pneumatski sistem za izbacivanje osobito za sitne i velike šuplje odljevke iz polietilena ili polipropilena.



⑲ Mehanički sistem skidanja odljevka s jezgre kalupa za injekcijsko brizganje

U većini slučajeva za odljevak izvađen iz kalupa nije potrebna nikakva dorada, osim odsijecanja ulijevnih kanala.



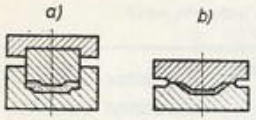
⑳ Mehanički sistem skidanja odljevka s jezgre kalupa za injekcijsko brizganje

26.03 PREŠANJE

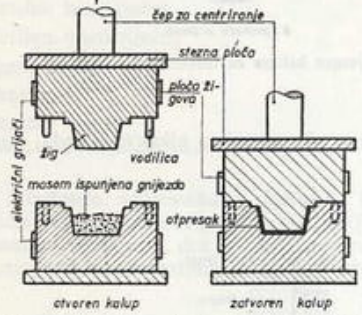
Postupak služi uglavnom za preradu termostabilnih plastičnih masa (fenoplasta, aminoplasta, melamina, nezasićenih poliesterskih smola i epoksi-smola), dok se u manjem opsegu primjenjuje pri preradi nekih termoplastičnih masa (sintrovanje TFE). Pripremljena termostabilna masa unosi se u kalup za oblikovanje gotovog proizvoda. Pomoću određenih parametara prešanja (temperatura i pritisak) u kalupu se nastavlja reakcija polikondenzacije, koja ostvaruje mrežastu strukturu makromolekula, odnosno daje uz oblik i konačna mehanička svojstva materijala.

Tokom prerade postupkom prešanja termoplastičnih masa ne dolazi do kemijskog procesa, već se masa samo oblikuje. Nakon završenog oblikovanja, a prije samog vađenja otpreska iz kalupa, potrebno je kalup i otpresak ohladiti na temperaturu nižu od temperature plastificiranja dotične termoplastične mase.

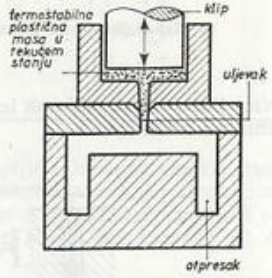
26.031 Načini prešanja. Postoje dva bitno različita načina prešanja: direktno ili kompresijsko ①ab, ② i posredno ili transferno ③. **Direktno** se s uspjehom primjenjuje za izradu malih i velikih proizvoda relativno jednostavne konstrukcije. **Posredno** se preporučuje u slučajevima kad je proizvod složene konstrukcije i tankih stijenki; kad je zahtjev na tolerancije dimenzija oštar ili je proizvod s više krhkih metalnih umetaka. Primjenom posrednog prešanja diktira se upotreba određenih vrsta termostabilnih masa koje imaju visok gradijent tečenja i odgovarajuću reaktivnost (fenol-formaldehidi, melamin-fenoli) kako se masa ne bi otvrdnula prije nego se kalup ispuni. Postupak je sličan injekcionom brizganju termoplastičkih masa s tom razlikom što se pri posrednom prešanju plastificira samo ona količina mase koja služi za jedan radni ciklus.



① Konstruktivni oblici kalupa za direktno prešanje (a — s određenom dozom materijala, b — kalup s mogućnošću preliva)



② Kalup za direktno prešanje s osnovnim elementima



③ Kalup za posredno prešanje

26.032 Tehnologija prerade prešanjem. Priprema mase započinje **doziranjem** materijala, koje se zasniva na težinskom ili na volumenskom određivanju potrebne količine. Težinski se količina određuje vaganjem. Volumenska količina zasniva se na specifičnoj težini praha neprerađene mase. Točno dimenzionirana posuda ili slog posuda napuni se do vrha i poravna ravnalom. Tako dozirana količina istresa se direktno u kalup ili se odnosi na **tabletiranje.** Ono se izvodi pod pritiskom ručnim ili automatskim prešama na hladno. Svrha mu je da se izbjegne rasipanje prilikom manipuliranja i da se poboljša kvaliteta predgrijavanja mase (zagrijavanje je jednoliko po cijelom presjeku) prije samog unošenja u kalup. Maksimalne su dimenzije tableta ⌀ 50 × 20. Kalupi s otprescima koji zahtijevaju veću količinu materijala mogu se puniti sa dvije ili s više tableta.

Predgrijavanje mase izvodi se u komorama s parnim ili infracrvenim grijačima, pa i s generatorima visokofrekventne struje do približno 90°C. Predgrijavanjem se smanjuje vrijeme prerade u kalupu i habanje kalupa jer je masa u omekšanom stanju, smanjuje se specifičan pritisak prerade, a kemijski proces se odvija jednoliko po cijelom presjeku otpreska pa se postižu najbolja mehanička svojstva. Prije unošenja svježe mase materijala u kalup potrebno ga je, ispuhavanjem pomoću komprimiranog zraka, očistiti od zaostalih otpadaka.

Kalupi služe za **davanje oblika** proizvodima. Zbog funkcionalnosti sastoje se od nekoliko određenih elemenata ②. Po konstruktivnom obliku i po načinu prerade dijele se na kalupe s tačno određenom dozom materijala, na ①a, kalupe s mogućim prelivom materijala ①b i na kalupe za posredno prešanje ③. Prema broju otpresaka koje daju u jednom radnom hodu ima ih s jednim ili s više kalupnih šupljina. Kolik broj kalupnih šupljina će se odabrati prilikom konstruiranja, ovisi u prvom redu o veličini otpreska,

o tehnologičnosti proizvodnje, o veličini preše na kojoj će se izvršiti prerada i o veličini proizvodne serije. Konstrukciju treba prilagoditi mogućnosti upotrebe što većeg broja standardnih elemenata (gornja i donja stezna ploča, standardna kućišta, vodilice). Komplicirane jezgre valja po mogućnosti izrađivati postupcima hladnog utiskivanja ili putem elektroerozije. Ti postupci zadovoljit će željenu točnost dimenzija (to napose vrijedi za kalupe s više istih oblika kalupnih šupljina), pojednostavnit će konstrukciju, skratit će vrijeme izrade i omogućit će postizanje kvalitetnih površina.

Dimenzioniranje kalupnih šupljina ovisi o vrsti materijala koji se prerađuje. Podatke o skupljanju materijala daje svaki proizvođač sirovine individualno i moraju se uzeti u obzir.

Da bi kalupi bili svrsishodni, ekonomični i trajni, potrebno je već prilikom konstruiranja proizvoda obratiti pažnju tehnologičnosti konstrukcije i nekim drugim utjecajnim faktorima, npr. vrsti materijala koji će se upotrijebiti. Presjeci moraju biti približno konstantni, bez skokovitih prijelaza; u cjelini ne smiju biti predebeli; profil po dubini treba da bude takav da osigurava lagano vađenje iz kalupa (pri dubini otpreska do 10 mm kosina je 1 : 50, pri dubini 10—500 mm kosina je 1 : 100); treba izbjegavati navoje u samom materijalu, što se može zamijeniti ubacivanjem metalnih umetaka; valja izabirati što veće radijuse zaobljenosti, jer to daje proizvodu veću dinamičku čvrstoću.

Temperatura prerade koja omogućava proces polikondenzacije treba da pri direktnom prešanju bude 140°C — 170°C, pri posrednom pak 135°C—170°C. Proizvođač materijala propisuje za svaku vrstu posebno kolika je temperatura potrebna. Pri posrednom prešanju, zbog većih površina kalupa (komora za ubrizgavanje) koje dolaze u dodir s masom i zbog razvijanja topline unutar mase uslijed trenja prilikom prolaza kroz ušće, u načelu je za kojih 10°C niža nego za istu vrstu mase i količnu pri direktnom prešanju.

Kalupi se griju pomoću električnih grijaćih elemenata koji se nalaze u kanalima samih kalupa ili pomoću električnih grijaćih omotača koji ih obavijaju ②. Kontrolu temperature kalupa treba provoditi pomoću kontaktnih termometara da bi se izbjeglo pregrijavanje mase.

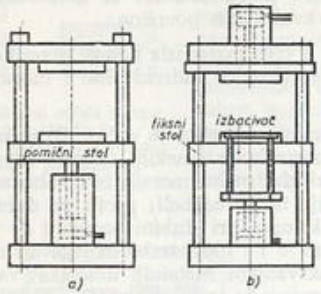
Specifični radni pritisak ovisi o vrsti termostabilne plastične mase, o dubini otpreska i o načinu prešanja. Pri direktnom prešanju on varira između 150 i 400 kp/cm² a pri posrednom između 400 i 1 800 kp/cm². Kako radni proces grijanja (pečenja) i prešanja teče u istom momentu, u zatvorenoj kalupnoj šupljini počinju se stvarati plinovi i od vlažnosti materijala i oni popratni od kemijske reakcije — polikondenzacije. Da se između mase i stijenke kalupa ne bi stvorio zračni jastuk, odnosno da konačan proizvod ne bi bio šupljikav, potrebno je kalup tokom prešanja otvoriti — odzračiti kako bi se tim plinovima omogućio slobodan izlaz. Jedan dio plinova prodire između ploha segmentiranih gnijezda, no to nije dovoljno.

Vrijeme prešanja (otvrđivanja, pečenja) ovisi o prosječnoj debljini strijenke otpreska, o radnoj temperaturi, o stupnju predgrijanosti i o ukupnoj količini mase. Pri posrednom prešanju u načelu je nešto kraće nego pri direktnom jer temperatura mase prolazom kroz ulivne kanale brzo naraste. Proizvođač sirovine propisuje uz normalne uvjete rada (propisana radna temperatura i specifičan pritisak) za svaku vrstu i vrijeme pečenja. Te vrijednosti kreću se između 30 i 60 s/mm debljine stijenke.

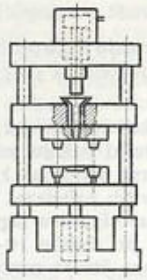
26.033 Dorada otpresaka. Nakon vađenja otpresaka iz kalupa potrebno ih je po pravilu doraditi. Oni izrađeni direktnim prešanjem imaju srh na prelivnim mjestima kalupa koji treba ukloniti. Posredno pak prešanje ostavlja na otpresku ulivni kanal, koji treba odrezati, i to najbolje postupkom skidanja strugotine.

26.034 Strojevi za preradu prešanjem. Strojevi za prešanje termoreaktivnih plastičnih masa izrađuju se kao vertikalne hidrauličke preše u raznim veličinama s rasponom pritiska od 20 do 1 000 tona. Razlikuju se i po načinu rada, od kojih su neki prikazani na ④ i na ⑤. Preše za direktno prešanje ④a, b imaju samo jedan hidraulični

cilindar, koji služi za zatvaranje kalupa i ostvarivanje pritiska. Preše za posredno prešanje ⑤ moraju imati dva hidraulična cilindra: jedan osigurava zatvaranje kalupa, a drugi ubrizgava masu (izvodi transfer). Kod preša za posredno prešanje brzina stapa za ubrizgavanje mora biti 0,5 cm/s kako bi se proces ubrizgavanja završio najviše za 10 do 15 s.



④ Hidraulične vertikalne preše za direktno prešanje

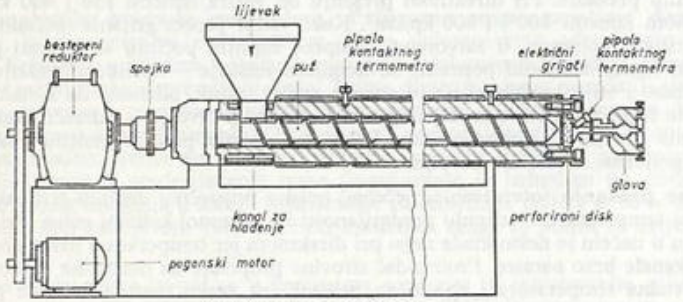


⑤ Hidraulička vertikalna preša za posredno prešanje

26.04 EKSTRUDIRANJE PLASTIČNIH MASA

Konstantna dobava jednolike količine u jedinici vremena neke plastificirane plastične mase, iz posebnog za to konstruiranog stroja, zove se ekstrudiranje plastičnih masa. Za obavljanje tog tehnološkog procesa upotrebljava se ekstruder ①.

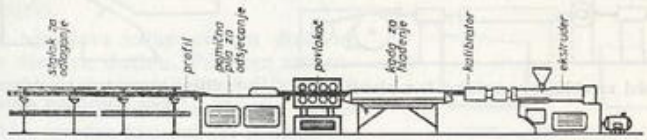
Ekstrudiranje, kao posebna radna operacija, nije ujedno i završna operacija izrade gotovog proizvoda. Dodatkom raznih uređaja proces se nastavlja da bi se završio proces prerade.



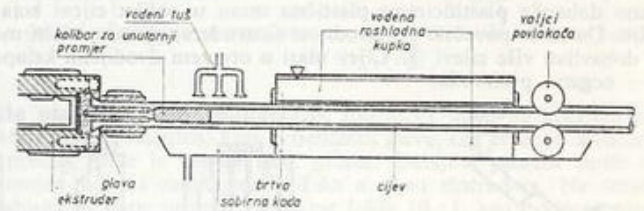
① Ekstruder s elementima

26.041 Proces ekstrudiranja. Sirovina koja se upotrebljava za preradu dolazi u formi praha ili granula raznih geometrijskih oblika obojena ili u prirodnoj (mlječnoj) boji. Suho bojenje granula prirodne boje moguće je u rotirajućem bubnju (vidi 26.02 – ①). Granulat ili prah sipa se u lijevak, koji omogućuje kontinuirano doziranje cilindara za plastifikaciju. Cilindar je obložen električnim grijačima, koji se preko kontaktnih termometara uključuju ili isključuju na temelju propisanih temperatura za pojedine zone i za vrste plastične mase. U cilindru rotira posebno konstruiran beskonačan transportni vijak-puž, koji ima transportnu funkciju, a omogućuje i dobro miješanje suho obojene plastične mase u svrhu jednoličnog obojenja i poboljšava proces plastifikacije. Rotaciju puža osigurava pogonski motor preko bestepenog reduktora, koji omogućuje finu regulaciju količine plastificirane plastične mase koja izlazi. Puž i cilindar su prisilno hlađeni specijalno za to izvedenim kanalima. Pred izlazom iz cilindra nalazi se perforirani disk, čija je svrha da prije izlaska plastificirane plastične mase poboljša homogenost plastifikacije i bojenja. Glava ekstrudera ① i dr. daje željeni oblik masi koja izlazi, a još je u plastičnom stanju.

26.042 Izvlačenje profila i cijevi ekstrudiranjem. Uređaj za izvlačenje ② sastoji se od ekstrudera sa specijalnom glavom, napravom za kalibriranje, kadom za hlađenje, te eventualno pilom za odsijecanje i stalkom za odlaganje ili kolutom za namatanje. Ekstruder kontinuirano istiskuje sirovinu, koja u glavi dobiva približan profil. Naprava za kalibriranje daje konačan oblik sa zahtijevanim dimenzijama ③. Da se dimenzije ne bi daljim transportom izmijenile, nastavlja se odmah uređaj za prisilno hlađenje zrakom ili vodom ③ i on daje materijalu krutu formu. Da bi se omogućio kontinuiran prolaz, a

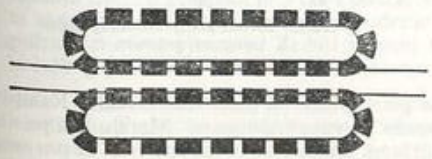


② Uređaj za izvlačenje profila i cijevi

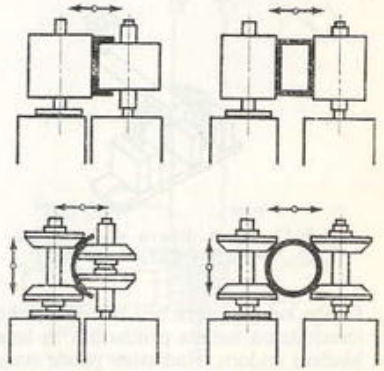


③ Uređaj za ekstrudiranje cijevi s napravom za kalibriranje

gme i konstantno održavanje dimenzija dobivenih profila, slijedeća naprava u liniji je tiusjeničasti transporter – povlakač ④, koji shodno izvlačenom profilu ima i odgovarajući poprečan presjek ⑤. Brzina transportera mora biti sinhronizirana s brzinom istjecanja plastificirane mase iz glave ekstrudera. Primjena naknadnih uređaja za odsijecanje (pila na pomičnom suportu s uzdužnim posmikom brzine protjecanja trake) i stalka za odlaganje ili koluta za namatanje ovisi o tome da li se prerađivao krut ili mekan tip plastične mase i o obliku profila.

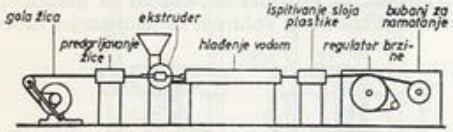


④ Gusjeničasti transporter – povlakač

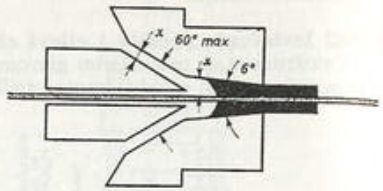


⑤ Profili transportera – povlakača

26.043 Oblaganje metalne žice plastičnom masom. Uređaj za oblaganje prikazan je na ⑥. Prije ulaska u specijalno konstruiranu glavu ekstrudera, koji kontinuirano dobavlja plastificiranu plastičnu masu, metalna žica mora se predgrijati. Predgrijavanje je nužno da se pri dodiru hladne žice s rastopljenom masom ne bi odmah stvorila hladna plastična kora. Tako stvorena plastična kora onemogućila bi izradu kvalitetne presvlake.



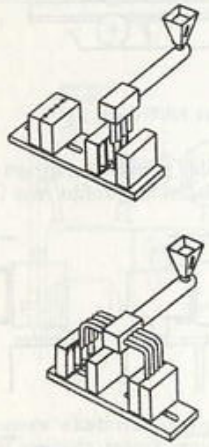
⑥ Uređaj za oblaganje metalne žice plastikom



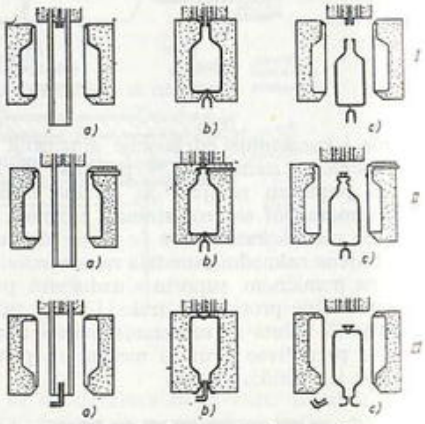
⑦ Glava ekstrudera za oblaganje metalne žice plastičnom masom

Obložena žica odmah nakon izlaza iz glave ekstrudera ⑦ prolazi kroz uređaj za prisilno hlađenje vodom. Prije koluta za namatanje, čija konstrukcija omogućuje jednoliku brzinu prolaza žice, nalazi se po potrebi uređaj za visokofrekventno ispitivanje kvalitete plastične presvlake. Njegovo uključivanje u tehnološku liniju ovisi o zahtjevima eksploatacije plastikom obložene metalne žice.

26.044 Izrada puhanih proizvoda. Specijalno konstruirana koljenčasta glava ekstrudera kontinuirano dobavlja plastificiranu plastičnu masu u obliku cijevi koja ide okomito prema dolje. Da bi se povećala proizvodnost ekstrudera, glava u istom momentu može paralelno dobavljati više cijevi ⑧. Cijev ulazi u otvoreni dvodijelni kalup. U ovome je šupljina — negativ proizvoda.



⑧ Uređaj za dobavu više cijevi za izradu puhanih proizvoda



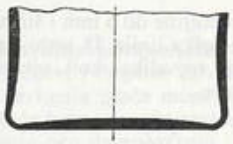
⑨ Načini dovoda komprimiranog zraka u kalup za puhanje

Dioba kalupa mora biti izvedena tako da se gotov proizvod može lako izvaditi. Kalupi se izrađuju od metala prikladnih za laganu izradu gravure (Al-legure). Moraju biti prisilno hlađeni vodom. Kad cijev prođe svojom dužinom cijelu dužinu kalupa, ovaj se pneumatskim putem zatvara. Kalup svojom konstrukcijom ne smije omogućiti da dio cijevi koji

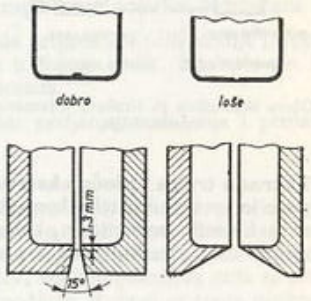
ostaje u kalupu ima bilo kakav slobodan dodir osim s kalupnom šupljinom. Nakon zatvaranja kalupa u unutrašnjost se kalupom obuhvaćenog dijela cijevi, kroz šuplju cijev, dovodi komprimirani zrak. Kako je masa još u plastičnom stanju, stijenke cijevi se napuhavaju i prianjaju za kalupnu šupljinu. Na ⑨ prikazane su tri mogućnosti dovođenja komprimiranog zraka u kalup za izradu boca. Pritisak zraka održava se tako dugo dok se plastična stijenka ne ohladi na hladnoj stijenki kalupa. Slijedi otvaranje kalupa i vađenje gotova proizvoda. Ono može biti automatizirano tako da se opet kroz šuplju cijev u formiranu šupljinu plastičnog proizvoda dovede komprimirani zrak za izbacivanje.

Debljine stijenki tako formiranog proizvoda su nejednake. Što su mjesta po obodu udaljenija od simetrale cijevi, to su tanja. Mali radijusi također su tanki ⑩ pa ih treba izbjegavati, kao i velike razlike u udaljenostima od simetrale cijevi.

Cijev koja ispunjava kalup svojom dužinom nadmašuje njegovu dužinu. Prilikom zatvaranja kalupa svojim donjim dijelom stišće stijenke cijevi i ujedno ih zavaruje. Taj dio kalupa ne smije biti izveden kao nož jer je onda zavareni spoj tanak ⑪.



⑩ Razlika u debljini stijenke (dno puhane boce)

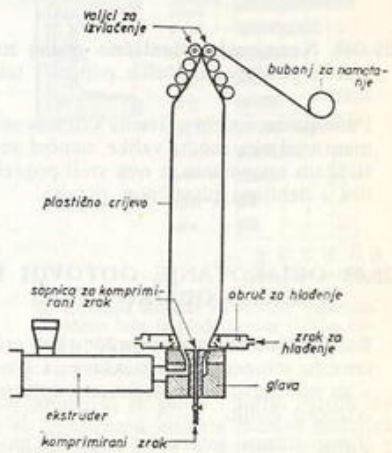


⑪ Detalji kalupa za puhane boce

26.045 Izrada plastične folije puhanjem. Ekstruder dobavlja kontinuirano plastificiranu plastičnu masu (polietilen) kroz koljenčastu glavu, čiji otvor je okrenut prema gore. Poprečan presjek glave je kružni uzak prorez. Debljina proreza može se regulirati, dok se promjer mijenja zamjenom uložaka u glavi ekstrudera. Na temelju najvećeg mogućeg odnosa debljine proreza i debljine folije 10 : 1, kao i odnosa promjera prstenova i vanjskog promjera cijevi najviše 1 : 4, određuje se debljina folije. Tim postupkom proizvodi se folija debljine od 0,01 do 0,3 mm.

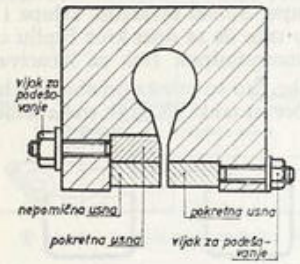
Kroz sredinu glave dovodi se topao komprimirani zrak konstantnog pritiska s mogućnošću fine regulacije ⑫. Taj zrak napuhava cijev koja izlazi do promjera reguliranog pritiskom zraka. Sa unutarnje strane perforirani obruč obuhvaća s vanjske strane plastičnu cijev koja izlazi. Kroz njega se dovodi hladan zrak koji hladi masu koja je još u plastičnom stanju i skrućuje je. Kako je brzina izlaza cijevi velika, potreban je i veći put za konačno ohlađenje. Dužina putovanja cijevi u prosjeku je 3 do 4 metra. Valjci za izvlačenje služe ujedno za prevođenje napuhane cijevi u plosnatu. Zadnji stupanj tehnološkog procesa je bubanj za namatanje.

Tako dobivena cijev može se rezati uzdužno i popreko. Poprečno razrezana upotrebljava se za izradu vrećica za ambalažiranje, time da se jedan otvor zavari.

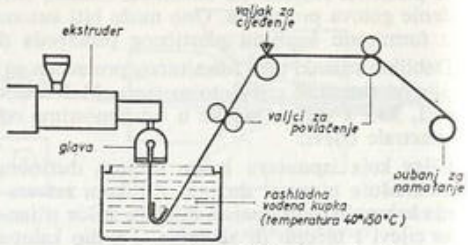


⑫ Izrada plastične folije puhanjem

26.046 Izrada plastične folije ekstrudiranjem kroz široku mlaznicu. Glava ekstrudera za izradu folije kroz široku mlaznicu ⑬ omogućuje izradu folija do 0,1 mm debljine, širine do 1 500 mm. Pokretnom usnom regulira se debljina. Nakon izlaza iz mlaznice hladi se u temperiranoj kupci, ocjeđuje te namata na bubanj ⑭.

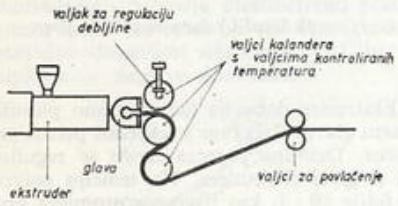


⑬ Glava ekstrudera sa širokom mlaznicom za izradu folija

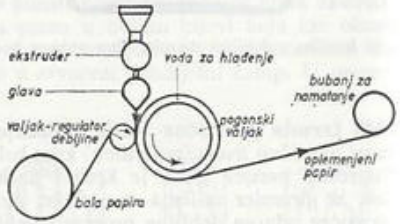


⑭ Uređaj za izradu folija ekstrudiranjem kroz široku mlaznicu

26.047 Izrada traka i ploča ekstrudiranjem. Trake debljine do 6 mm i širine do 1 metra moguće je proizvoditi tehnikom ekstrudiranja. Tehnološka linija ⑮ sastoji se od ekstrudera sa širokom mlaznicom, kalandera dvovaljka ili trovaljka, koji ujedno regulira i debljinu trake, transportera i uređaja za odrezivanje.



⑮ Uređaj za izradu ploča ekstrudiranjem



⑯ Uređaj za nanošenje plastične mase na papir kao podlogu

26.048 Nanašanje plastične mase na podlogu (kaširanje). U svrhu oplemenjivanja raznih podloga, najčešće papira i tekstila, upotrebljava se tehnika nanošenja plastične mase.

Podloga za oplemenjivanje odmata se s bubnja te prolazi između dva valjka ⑯. U momentu ulaska među valjke nanosi se na nju plastični film, koji dobavlja ekstruder sa širokom mlaznicom, a ova stoji popreko na smjer prolaza podloge. Razmak valjaka regulira i debljinu plastičnog nanosa.

26.05 OBLIKOVANJE GOTOVIH PROIZVODA NA TOPLO (TERMO-OBLIKOVANJE)

Postupak oblikovanja moguć je kod onih termoplastičnih masa koje imaju izrazitu razliku između temperature omekšavanja i temperature tečenja. Uz pomoć prikladnih naprava, a uz upotrebu sile potrebne za deformiranje, moguće je pločevini — poluproizvodu dati određen oblik.

Temperaturni interval u kojem je moguće oblikovati na toplo neke termoplastične mase dan je u tablici 1.

Temperaturni interval mogućnosti oblikovanja na toplo za neke termoplastične mase

Tablica 1.

70°C do 120°C	celuloid, acetil-celuloid, kopolimeri vinila
130°C do 135°C	visokotlačni polietilen
100°C do 160°C	PVC, polistiren otporan na udar, kopolimeri akrila

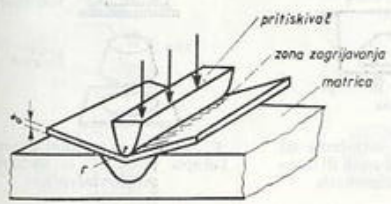
Grijanje se izvodi vrućom vodenom ili uljnom kupkom, plamenim grijačima (bez dodira plamena s plastičnim materijalom), infracrvenim grijačima (tanke ploče) i ostalim električnim uređajima za grijanje, a sve uz kontrolu temperature pomoću termostata.

Radne operacije pri oblikovanju na toplo jesu: izrada pripremka, prihvaćanje pripremka i grijanje, oblikovanje u napravama pod pritiskom u željeni oblik, hlađenje do ispod temperature omekšanja pod pritiskom i završna dorada.

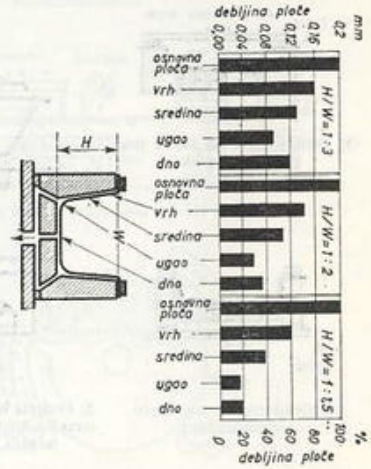
U biti razlikujemo tri načina oblikovanja na toplo: savijanje, izvlačenje i prešanje u kalupu.

26.051 Oblikovanje savijanjem. Savijanjem oblikujemo ploče i trake u neki profilni oblik ①, a cijevi i štapove dovodimo iz ravnog stanja u zakrivljeno. Zona zagrijavanja oko linije savijanja ploča mora biti najmanje šesterostruka debljina ploče. Maksimalna debljina ploče koja se može savijati jest 10 mm. Cijevi velikog promjera rade se postupkom savijanja oko drvenog trna i pustane (filcane) podloge. Rubovi se spoje međusobno uzdužnim zavarom. Cijevi se prije savijanja na željeni radijus ispune toplim pijeskom i začepe s obje strane. Mjesto na kojem se želi savijati grije se na propisanu temperaturu a zatim ručno ili preko šablone savine. Ugrijano mjesto naknadno se hladi vodom. Umjesto pijeska, koji služi da bi se održao konstantan presjek cijevi, može se upotrijebiti gumena cijev ili spiralna opruga (za kraće cijevi).

Cijevi iz polimetakrilata, na koje se postavlja zahtjev visoke prozirnosti, savijaju se u dvodijelnom savitljivom kalupu grijanom toplim zrakom koji se dovodi pod pritiskom.



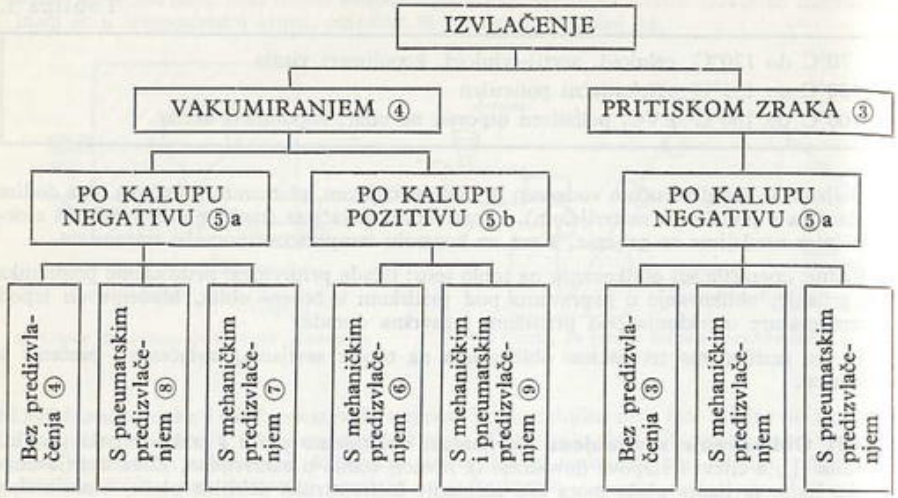
① Savijanje ploča

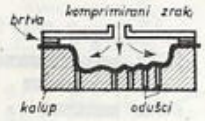


② Debljina stijenke na raznim mjestima izvučene čaše iz ploče tvrdog PVC-a debljine 0,2 mm, a a za razne odnose H : W

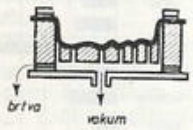
26.052 Oblikovanje izvlačenjem. Izvlačenjem se oblikuju, iz ploča i folija raznih debljina, šuplji proizvodi (čaše, kutije, poklopci i sl.). Proizvod ima na raznim mjestima nejednoliku debljinu ②. Postoji više tehnika izvlačenja, a to je prikazano u tablici 2. i na priloženim shemama.

Pregled postupaka izvlačenja Tablica 2.

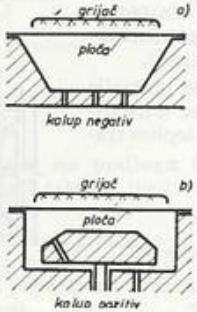




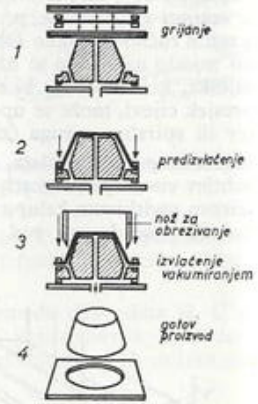
③ Oblikovanje na toplo pod pritiskom zraka



④ Oblikovanje na toplo vakumiranjem



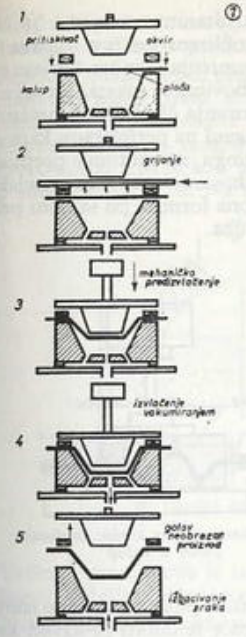
⑤ Podjela kalupa za izvlačenje na temelju dobivanja vanjskih ili unutarnjih tačnih dimenzija



⑥ Izvlačenje vakumiranjem po kalupu pozitivu s mehaničkim predizvlačenjem

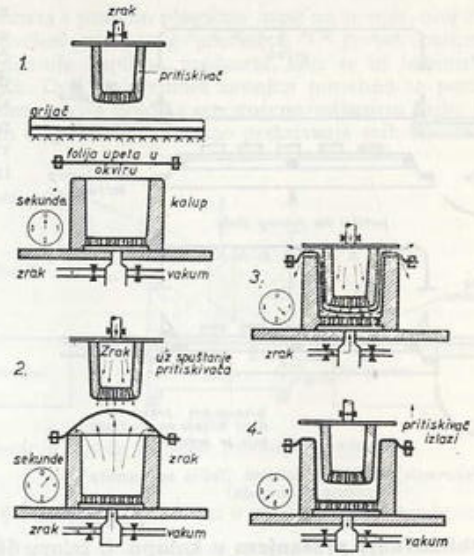
Da bi se postigla ravnomjernija raspodjela debljine stijenke, navodi se prije uključivanja pritiska ili vakuuma međufazna operacija predizvlačenja. Ona može biti izvedena mehanički ⑦ ili pneumatski ⑧.

Ekonomičnost proizvodnje nekog proizvoda omogućena je transfer-stazom ⑩, gdje se započinje izradom folije, koja neohlađena dolazi pod uređaj za izvlačenje. Nakon hlađenja i obrezivanja proizvod je spreman za otpremu.

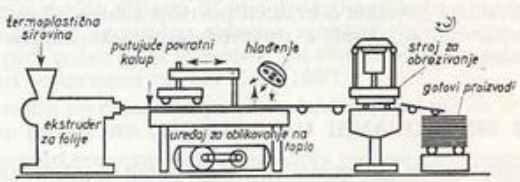


⑨ Izvlačenje vakumiranjem po kalupu pozitivu s pneumatskim predizvlačenjem

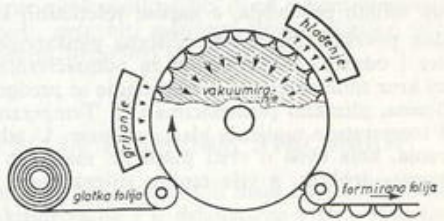
⑦ Izvlačenje vakumiranjem po kalupu negativu s mehaničkim predizvlačenjem



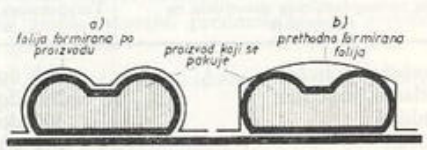
⑧ Izvlačenje vakumiranjem po kalupu negativu s pneumatskim predizvlačenjem



⑩ Transfer-staza za izradu proizvoda oblikovanjem na toplo

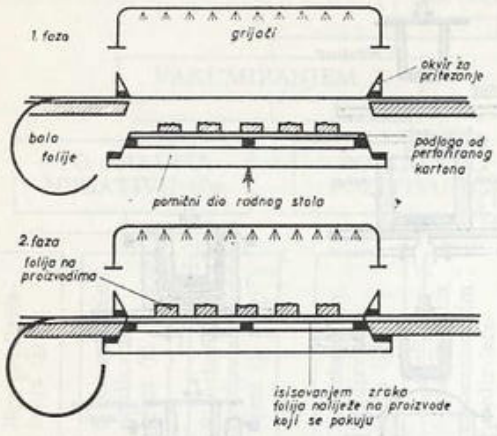


⑪ Pakovanje plastičnom folijom (folija se prethodno formira)

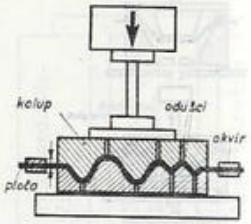


⑫ Pakovanje plastičnom folijom

Jednim od postupaka izvlačenja izrađuju se u posebno konstruiranim uređajima ⑪ oblikovane trake koje služe za pakovanje proizvoda. Tako profilirani pokrov zatvara se nakon punjenja ravnom folijom ⑫, a po rubovima se zavari. Drugi način pakovanja ⑬, gdje su proizvodi poslagani na perforiranu kartonsku podlogu, ne zahtijeva prethodno oblikovanje plastične navlake, već se ona formira po samom proizvodu ⑫a.



⑬ Pakovanje plastičnom folijom (folija se formira prema proizvodu)



⑭ Oblikovanje na toplo: prešanje ploča u kalup

26.053 Oblikovanje prešanjem u kalupu. U kalupu ⑭ iz prešane ploče prethodno iskrojene na potrebnu mjeru i zagrijane do plastičnog stanja, moguće je dobiti proizvod koji ima na svim mjestima jednako debele stijenke. Debljina ovisi o točnosti izrade kalupa, a kvaliteta površine o kvaliteti površine kalupa. Zbog visoke cijene izrade takvih kalupa i proizvodi su skupi, a proizvodnja nije ekonomična za pojedinačnu i za maloserijsku proizvodnju.

26.06 SINTROVANJE U VRTLOGU

Uronjavanjem predgrijanih metalnih punih ili rešetkastih predmeta u fluidizirani plastični prah stvara se na njihovoj površini plastična presvlaka, koja služi kao zaštita ili se stavlja radi dekoracije. Postupak je pogodan za pojedinačan pa i za velikoserijski rad malih do srednje velikih proizvoda, a napose rešetkastih konstrukcija.

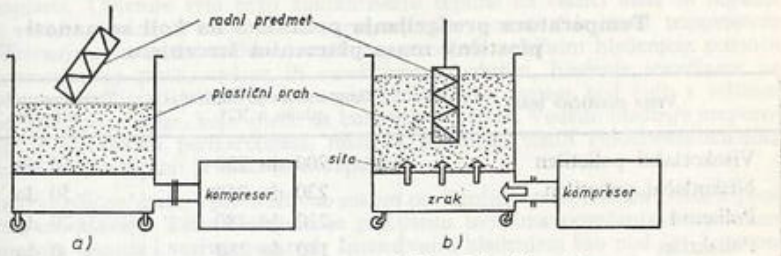
Metalna površina mora biti očišćena pjeskarenjem čeličnim ili kvarcnim pijeskom pa također i odmašćena sredstvom za odmašćivanje. Nakon pripreme površine predmet prolazi kroz tunelnu električnu peć, gdje se predgrijava. To se može učiniti infracrvenim grijalicama, plinskim plamenicima i sl. Temperatura predgrijavanja predmeta mora biti iznad temperature topljenja plastične mase. U tablici 1. prikazana je temperatura predgrijavanja, koja ovisi o vrsti plastične mase i o debljini predmeta. Niže temperature odgovaraju debljim, a više tanjim stijenkama.

Temperatura predgrijavanja predmeta koji se sintruje u vrtlogu Tablica 1.

Vrsta termoplastičnog materijala za sintrovanje	Temperatura predgrijavanja u °C	Temperaturno područje primjene u °C
Visokotlačni polietilen	200 do 300	−50 do + 60
Niskotlačni polietilen	280 do 380	−50 do + 80
Poliamid	300 do 400	−20 do +120
Poliakrilat	180 do 240	0 do + 60

Uređaj je prikazan na ①. Prah nije fluidiziran ①a pa predmet ne može uroniti. Prah je fluidiziran ①b pa predmet tone zbog vlastite težine.

Prilikom dodira vruće plohe predmeta s prahom plastične mase on se topi. Sloj otopljene plastične mase hvata se po površini uronjenog predmeta. U prvom momentu još fluidizirani prah prodire i u najsitnije šupljine predmeta, koje se ni jednim drugim postupkom ne bi mogle presvući. Dok je predmet uronjen potrebno je pomicati ga lijevo-desno i to je kod nekih konstrukcija uređaja omogućeno valjanjem kade, dok sam predmet mirno visi. Na taj način osigurava se potpuno prekrivanje svih mjesta.



① Uređaj za sintrovanje u vrtlogu metalnih rešetkastih predmeta

Vrijeme uronjavanja je između 5 i 30 sekundi, ovisno o predgrijanosti predmeta i o željenoj debljini plastičnog sloja.

Nakon vađenja iz kade predmet ima zaprašen izgled. Nakon stanovitog vremena, uslijed prijelaza topline prema vanjskim slojevima, grozdovi praha se otapaju i stvaraju jednoličnu sjajnu koru. Ako je predmet tankih stijenki ili nije predgrijan koliko bi trebalo, on nema dovoljno akumulirane topline za završno otapanje vanjskog sloja. Iz tog razloga potrebno ga je naknadno u peći grijati da bi se vanjski sloj otopio. Trajanje naknadnog grijanja je 5−10 minuta pri temperaturi od 120°C do 140°C.

Rešetkaste konstrukcije od žice malih promjera nije potrebno brižno pjeskariti jer se sloj plastike hlađenjem steže i čvrsto prianja oko cijelog obujma.

Tim postupkom moguće je presvlačiti sve vrste metala čija točka topljenja leži najmanje 50°C iznad potrebne temperature predgrijavanja. Meko lemljeni spojevi ne mogu se tim postupkom obložiti jer se već pri predgrijavanju otope.

Nedostatak je tog postupka što predmet mora visiti na žici ili na nekom drugom držaču, pa to mjesto, pošto se postupak završi, neće biti zaštićeno slojem plastike. Međutim, ono se može naknadno zaštititi plamenim štrcanjem plastične mase.

26.07 NANOŠENJE PLASTIČNIH MASA PLAMENIM ŠTRCANJEM

Taj se postupak primjenjuje prilikom nanošenja plastičnih masa na veće metalne površine u svrhu površinske zaštite, elektroizolacije i u dekorativne svrhe. Pogodan je za pojedinačnu ili za maloserijsku proizvodnju i za rad na terenu. Tim se postupkom ne mogu presvlačiti metali s niskim talištem (olovo, kositar).

Potrebne konstruktivne karakteristike ploha, odnosno predmeta koji se presvlače plastičnom masom plamenim štrcanjem jesu:

1 − Predmet ne smije imati oštre, već zaobljene bridove. Konveksni radijus min. $r = 2-3$ mm, a konkavni min. $r = 5-10$ mm.

2 − Zavari ne smiju biti porozni ni hrapavi. Prije nego se počne nanositi plastična masa, potrebno je prebrusiti ih da se sve neravnine poravnaju.

Metalna ploha koja se presvlači mora biti čista od prljavštine, rđe i masnoće kako bi se osigurao dobar spoj metala s plastikom. Plohe se čiste pjeskarenjem čeličnim kuglicama ili kvarcnim pijeskom, dok se masnoća uklanja sredstvima za odmašćivanje. Čelične kuglice ili pijesak granulacije 2—3 mm moraju udarati po metalnoj plohi pod pritiskom od 50—60 N/cm² (5—6 at).

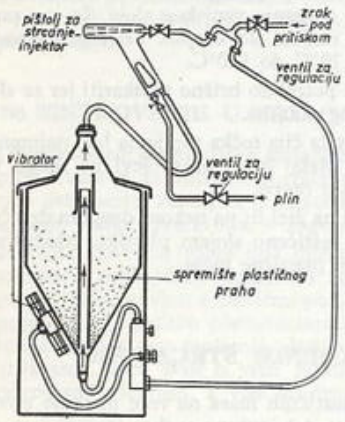
Ploha se predgrijava na temperaturu koja ovisi o debljini samog predmeta, kao i o vrsti plastičnog materijala koji se upotrebljava. Neke temperature dane su za orijentaciju u tablici 1.

Temperatura predgrijanja predmeta na koji se nanosi plastična masa plamenim štrcanjem Tablica 1.

Vrsta plastične mase	Temperatura predgrijanja plohe u °C*	Temperaturno područje primjene u °C
Visokotlačni polietilen	200 do 220	−50 do + 60
Niskotlačni polietilen	220 do 250	−50 do + 80
Poliamid	220 do 280	−20 do +120
Poliakrilat	180 do 280	− 0 do + 60

(*niža temperatura za deblje stijenke, a viša za tanje)

Plohe se predgrijavaju plamenom pomoću istog pištolja za štrcanje ① bez dovoda plastičnog praha. Kao gorivi plin upotrebljavaju se acetilen, metan i propan. Pošto se postigne temperatura predgrijanja površine, otvara se ventil za dovod zraka pod pritiskom, koji na principu injektora povlači plastični prah iz spremišta i dovodi ga u struju plamena. Tu se prah otapa i kao takav nanosi na metalnu predgrijanu površinu. Udaljenost pištolja od plohe regulira se duljinom plamena (otprilike 20 cm). Vrh plamena mora dodirivati plohu.



① Uređaj za plameno štrcanje

Plohe veličine do 500 × 500 mm štrcaju se odjedanput u trakama od po 50 mm širine. Veće se površine dijele na sekcije spomenutih površina, koje se pojedinačno predgrijavaju i štrcaju. Prilikom takvog rada treba posebnu pažnju obratiti prijelaznim mjestima među sekcijama.

Željena debljina sloja postiže se s više tankih slojeva koji se nanose ponovljenim štrcanjem. Treba pripaziti da prije nanošenja narednog sloja prethodni bude potpuno otopljen kako bi se novi mogao stopiti s njime u kompaktnu cijelinu. Pošto je postignuta željena debljina, zatvara se ventil za dovod praha, dok se samim plamenom izravnavaju neravnine. Kompaktnost presvlake ispituje se nakon ohlađivanja podloge i plastičnog sloja pomoću posebnog visokofrekventnog kontrolnog instrumenta. Uočene pore ili pukotine moraju se ukloniti tako da se na tom mjestu ponovi cijeli postupak štrcanja. Sposobnost prianjanja plastičnog sloja za podlogu ispituje se na ovaj način: nožem se povuku dva paralelna reza (razmak 10 mm), pa se tako dobivena traka pokuša odlijepiti. Dobro pripremljena ploha, kao i dobro izveden postupak štrcanja ne dopuštaju odvajanje takve trake od same podloge.

26.08 OBRADA PLASTIČNIH MASA SKIDANJEM STRUGOTINE

Sve uobičajene postupke skidanja strugotine kod metala moguće je primijeniti, sa stanovitim odstupanjem, na obradu poluproizvoda iz plastičnih masa. Čak i strojevi na kojima se izvodi obrada odgovaraju strojevima za obradu metala. Potrebno je obratiti pažnju specifičnim pojavama u vezi s određenim posebnim svojstvima materijala te postupiti kako se preporučuje.

1 — Koeficijent toplinske vodljivosti kod plastičnih masa u prosjeku je vrlo nizak: od 585 I/mh°C (0,14 kcal/mh°C) za PVC do 1260 I/mh°C (0,3 kcal/mh°C) za fenoplaste. Uvjetuje vrlo brzu koncentraciju topline na oštrici alata za obradu. Pri velikim brzinama rezanja temperatura može porasti čak iznad temperature odžarivanja reznog alata. Odvod topline provodi se prisilnim hlađenjem pomoću komprimiranog zraka, vodom ili emulzijom. Međutim, hlađenje tekućinom ne može se primijeniti kod svih vrsta plastičnih masa, napose kod onih s velikom moći apsorpcije vlage, koja utječe na bubrenje površine. Vođeno hlađenje preporučuje se pri obradi polikarbonata, fluornih polimera, čistih fenolformaldehidnih smola i celuloida koji je inače jako zapaljiv.

2 — Termoplastične mase i pri relativno malim povišenjima temperatura postaju plastične, omekšavaju. Termoreaktivne se pod istim uvjetima povećanja temperature raspadaju (punila i veziva sredstva). Intenzivnim hlađenjem kao pod (1—) temperatura se zadržava ispod granica plastičnosti, odnosno raspadanja.

3 — Mnoge plastične mase daju kratku strugotinu uz puno prašine, što tupi oštricu alata i onečišćuje stroj na kojem se izvodi obrada. Prašina razorno djeluje i na brušene klizne plohe, a to se izbjegava njihovom obvezatnom zaštitom uz pomoć posebno izvedenih štitnika.

Materijal alata za obradu skidanjem strugotine treba pažljivo odabrati. Odabrana kvaliteta materijala ovisi o vrsti plastične mase koja se obrađuje i o brzinama obrade (tablica 1). Najčešće se upotrebljavaju brzorezni čelici, dok se tvrdi metali uglavnom upotrebljavaju za obradu termoreaktivnih plastičnih masa s anorganskim punilima i armiranih termoplastičnih sa staklenim vlaknom.

26.09 POSTUPCI DOTJERIVANJA POVRŠINA

Ako se na kvalitetu površine proizvoda izrađenog od plastične mase nekim od postupaka prerade postavlja poseban zahtjev, a ovaj se preradom ne može ili nije mogao postići, potrebno ju je dotjerati. Dublji risovi ili nepotrebni izdanci uklanjaju se ručnim brušenjem pomoću plosnatog grecala kojem je kut noža 75°, smirkovim papirom raznih kvaliteta ili finim brusnim kamenom.

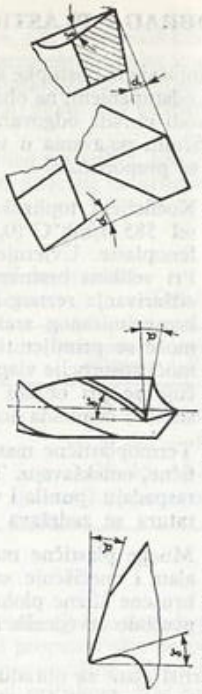
26.091 Završno brušenje i poliranje. Završno brušenje i poliranje izvode se pomoću pustenih koluta ili kombinacijom ovih s tekstilnima. Ovisno o tome da li se brusi ili polira na kolute se nanosi odgovarajuća pasta. Promjer koluta za tu svrhu je 300 mm, a obodna brzina otprilike 1 500 m/min. Ploha koja se brusi ili polira, lagano se pritišće na rotirajuće pustene kolute. Veći pritisak povećava trenje, a ono uzrokuje stvaranje topline. Zbog slabog koeficijenta vodljivosti koji imaju plastične mase došlo bi u tom slučaju do lokalnog povišenja temperature, a to bi prouzročilo omekšanje površinskog sloja. Posljedice su neželjene deformacije, u krajnjem pak slučaju i potpuno razaranje. Postupak se provodi pomoću tri koluta. Na prvi se nanosi fini brusni prah. Drugi je premazan pastom za poliranje, a treći, u većini slučajeva tekstilni, bez ikakva pomoćnog sredstva istjeruje sjaj.

Kutovi noževa, brzine, posmici i izbor materijala noževa za obradu nekih plastičnih masa postupkom skidanja strugotine Tablica 1.

PLASTIČNI MATERIJAL	ALAT	TOKARENJE*				BUŠENJE**				GLODANJE***			
		$\alpha°$	$\gamma°$	V m/min	S mm/[1]	$\alpha°$	$\gamma°$	V m/min	S mm/°	$\alpha°$	$\gamma°$	V m/min	S' mm
Termoreaktivne plastične mase s organskim punilima	BR	5–10	15–25	do 80	0,2–0,3	6–8	6–10	30–40	0,1–0,2	do 15	15–25	do 80	0,1–0,3
	TM	4–8	10–15	do 400	0,1–0,3	6–8	6–10	60–80	0,1	do 10	5–15	do 400	0,1
Termoreaktivne plastične mase s anorganskim punilima	TM	5–8	0–12	do 40	0,1–0,3	6–8	0–6	20–40	0,1	preporučljivo brusiti			
Niskotlačni polietilen, polipropilen, poliamid	BR	5–15	0–10	200–600	0,1–0,5	10–12	3–5	50–100	0,2–0,5	5–15	0–15	do 1 000	0,1–0,2
Poliacetal Polikarbonat Polifluoretilen	BR	5–15	0–5	200–500	0,1–0,2	5–10	0–5	200–500	0,1–0,3	5–10	0–10	do 1 000	0,1–0,2
Akrilati	BR	5–10	0–4	200–300	0,1–0,2	3–8	0–4	20–60	0,1–0,5	2–10	1–5	do 2 000	0,1–0,2
Tvrdi PVC Celulozni esteri Polistiren	BR	5–10	0–5	200–500	0,1–0,2	8–10	3–5	60–110	0,1–0,5	5–25	0–15	do 1 000	0,1–0,2

Objašnjenje simbola:

α [°]	stražnji kut rezanja	BR	brzorezni čelik
γ [°]	prednji kut rezanja	TM	tvrdi metal
V [m/min]	brzina rezanja	*	vidi ①
S [mm/°]	posmak uzdužni	**	vidi ②
S' [mm/okretici]	posmak po okretici	***	vidi ③



① Kutovi rezanja tokarskog noža

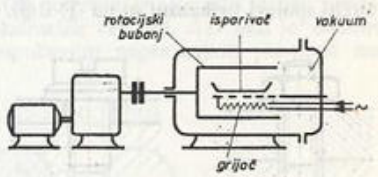
② Kutovi rezanja spiralnog svrdla

③ Kutovi rezanja glodala

26.092 Lakiranje. Lakiranjem proizvoda od plastičnih masa postiže se dvojak efekt. Površine zadržavaju dugotrajan visok sjaj jer sloj laka ne dopušta oksidaciju. Osim toga, sprečava se upijanje vlage pa se tim postupkom može garantirati stalnost mehaničkih svojstava i dimenzija. Površine proizvoda izrađenih od termostabilnih materijala ne treba pripremati prije lakiranja. Postupak se provodi nitrolakovima i acetatnim lakovima. Površine proizvoda od termoplastičnih masa moraju se po pravilu prije lakiranja pripremiti (mehaničkim, kemijskim ili visokofrekventnim najedanjem) ako lak nije na bazi otapala za dotičnu vrstu plastične mase. Lakiranje se izvodi prskanjem ili uronjavanjem.

26.093 Površinsko bojenje. Površinsko bojenje je moguće i provodi se u izuzetnim slučajevima jer plastične mase ističu, među ostalim, pozitivno svojstvo širokog asortimana boja. Na površinu proizvoda koji se boji postavlja se isti zahtjev kao i pri lakiranju. Boji se prskanjem ili uronjavanjem. Kod proizvoda iz plastičnih masa koje imaju sposobnost apsorpcije vlage, bojenje se obavlja na ovaj način: pripremi se vodena otopina željene tekstilne boje, u kojoj se ostavi dotični proizvod, prethodno umjetno osušen, da odleži najmanje 48 sati. Upijanjem vlage ulazi u materijal boja koja ga jednolično oboji. Takav način bojenja dopušten je za one proizvode na koje se ne postavlja poseban zahtjev s obzirom na mehanička svojstva i dimenzionalnu točnost.

26.094 Metalizacija. Metalizacijom dobiva proizvod od plastične mase izgled i sjaj kao metal. Postupak se sastoji u nanošenju tankog metalnog sloja (0,025 do 0,04 mm) aluminija, zlata ili bakra. Lakiranje površine je prva faza postupka jer je lak nosilac metalnog sloja. Pošto se on osušio, predmeti se objese o rotirajući bubanj uređaja za metalizaciju ①, iz kojeg se ispumpa zrak do 0,066 N/m² ($5 \cdot 10^{-4}$ mm Hg). Žica metala kojim se obavlja metalizacija topi se na isparivaču. Isparene molekule bombardiraju površine predmeta i zadržavaju se na lakiranom sloju. Tako se dobiveni tanki sloj metala, da bi se očuvao od abrazije, može još i naknadnim lakiranjem očuvati.



① Uređaj za metalizaciju primjenom visokog vakuuma

26.095 Galvanizacija. Deblji metalni sloj, kao nanos na površinu plastičnog proizvoda, moguće je izvesti galvanskim putem. Površinu je potrebno prethodno posrebriti istodobnim štrcanjem srebrnim nitratom i rastopinom reduktora. Na površini dolazi do kemijske reakcije, čiji je krajnji rezultat srebrnast sloj. Sam proces galvanizacije odvija se poslije toga kao da se radi s čistim metalom. Tim se postupkom izrađuju komplicirana gravirana kalupna gnijezda. Pošto je nanesen metalni sloj, odgovarajućim se otapalom otopi plastični model, a metalna kora ostaje kao negativ.

26.096 Flokiranje. Površini plastičnog proizvoda moguće je dati izgled pliša postupkom flokiranja. Na nju se nanose kratke tekstilne niti (0,35 do 2 mm duljine). One se nabiju pozitivnim nabojem 20 do 60 kV slabe amperaže (do 2 ampera). Površina mora imati negativan kapacitet (putem uzemljenja). Prije nego što se približi nabijenim vlaknima, potrebno ju je, ako je to efikasno za dotični plastični materijal, premazati ljepilom ili pak dovesti u plastično stanje. Na taj način obrađuju se folije koje se upotrebljavaju u konfekcijske svrhe.

26.097 Štampanje. Za štampanje po površini folija ili proizvoda od plastične mase upotrebljavaju se boje koje su izrađene na bazi sredstva bliskog dotičnoj plastičnoj masi ili pak na bazi organskog otapala za tu plastičnu masu. Otapalo razara podlogu pa ona

uslijed toga bubri i dopušta čvrsto prianjanje pigmenata. Podlogu za štampanje na koju ne djeluje nikakvo otapalo treba pripremiti:

1 – Plamenom: specijalnim plamenicima grije se ona strana površine po kojoj će se štampati, dok se suprotna strana hladi specijalnim metalnim valjcima tako se grijana površina naglo hladi i stvara mikroskopski amorfni sloj koji bolje prima boju.

2 – Kemijskim putem: ostvaruje se oksidacija površinskog sloja (pomoću razrijeđene klorovodične, bromovodične ili fluorovodične kiseline), koja kao takva prima boju.

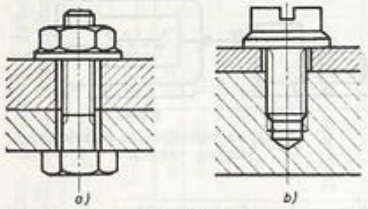
3 – Električnim pražnjenjem: iz ioniziranog zračnog prostora izlijeću nabijene čestice, koje zbog razlike potencijala bombardiraju površinu. Tako se stvara oksidirajući sloj koji prima boju.

Za plastične mase primjenjuju se ove tehnike štampanja: sitotisak, ofsetnitisak, i bakrotisak.

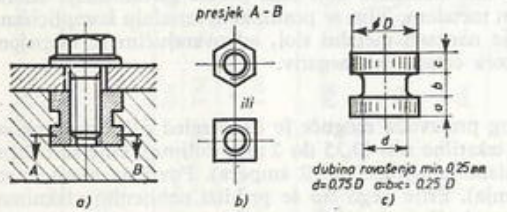
26.098 Utiskivanje. Razni ornamenti i natpisi utiskuju se na proizvode od termoplastičnih masa prethodnim grijanjem i dovođenjem gornjeg sloja u plastično stanje, u koje se zatim graviranim utiskivačem utiskuje željeni natpis.

26.10 SPAJANJE ELEMENATA OD PLASTIČNIH MASA

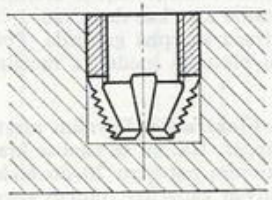
26.101 Vijčani spoj. Takav način upotrebljava se za demontabilne spojeve. Karakteristični spojevi prikazani su na ① i ②. Spoj ①a normalno je upotrebljiv. Spoj ①b moguć je sa svakom vrstom navoja, međutim najpovoljniji je oblik navoj po JUS M.B0.081 zbog male specifične gustoće plastičnih masa. Ako je dubina ulaza navoja u plastiku konstruktivno ograničena i ako se radi o većim silama, onda se upotrebljava kao na ②a. Oblici matica dani na ② preporučuju se kao metalni umeci u plastičnim odljevcima. Višebridni ②a, b ili narovašeni ②c profil osigurava ih od zakretanja, a poprečan utor od aksijalnog izvlačenja. Umetanje u plastične odljevke odvija se u momentu prerade plastike. Matica konstrukcije prema ③ umeće se naknadno u za to točno izbušenu rupu. Pritezanjem vijka razrezana rebra s kandžama se šire i na taj način uglavljuju maticu.



① Normalni vijčani spojevi dijelova iz plastičnih masa



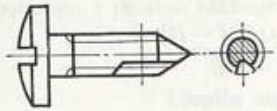
② Matice – metalni umeci uliveni u plastičnu masu



③ Matica – umetak sa zubima za uglavljivanje u rupama

Samourezni vijci ④ upotrebljavaju se za spajanje dijelova izrađenih od tvrdih i armiranih plastičnih masa.

Vijci i matice izrađeni od plastične mase (poliamid, poliacetal) izrađuju se s normalnm grubim metričkim navojem, a pretežno se upotrebljavaju u elektrotehnici kao izolirajući demontabilni spojni element.

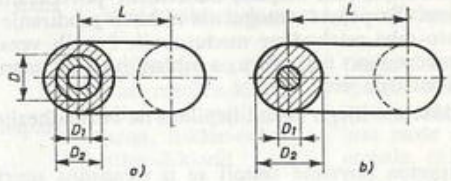


④ Samourezni vijak za plastične mase

⑤ Spoj zakovicom. Odljevak i zakovica jedan dio

26.102. Zakovice. Međusobno spajanje dijelova od plastičnih masa ili kombinacije plastična masa–metal moguće je izvesti zakovicama, ako se želi dobiti nedemontabilan spoj. Materijal zakovica je bakar, aluminij ili mjed. Za prijenos manjih sila prikladne su šuplje zakovice. Unaprijed predviđeni spoj s odljevkom koji je izrađen postupkom ubrizgavanja putem injekcije omogućuje konstruktivnu izvedbu odljevka i zakovice kao jednog komada ⑤. Zakovice od plastične mase raskrivaju se na toplo pod laganim pritiskom.

26.103 Stezni spoj. Da bi se ostvario stezni spoj ⑥, potrebno je osigurati razliku promjera ΔD, koji varira između jedne minimalne i maksimalne veličine. ΔD min je definirana s potrebnom nosećom silom F, a ΔD_{max} s dopuštenim naprezanjem plastične mase.



⑥ Stezni spoj

Međutim, uslijed utjecaja pojave puzanja i temperaturne dilatacije (utjecaj radne temperature) dobro je prilikom dimenzioniranja, ako se ne uzimaju u obzir ta dva korekturna koeficijenta[1]), odabrati vrijednost ΔD bližu izračunatoj veličini ΔD_{max}. Kombinacije upotrijebljenog materijala za čep i omotač utječu na način izračunavanja:

1 – Čep i omotač su od iste vrste plastične mase ⑥a:

$$\Delta D_{max} = \frac{2\sigma D \cdot D_2}{E(D_2^2 + D_1^2)} \tag{1}$$

$$\Delta D_{min} = \frac{2F \cdot D_2^2}{\pi \cdot L \cdot f \cdot E(D_2^2 - D_1^2)} \tag{2}$$

[1]) Kunststoff-Berater 6/1965.

2 — Čep je metalan, omotač od plastične mase ⑥b:

$$\Delta D_{max} = \frac{\sigma \cdot D\,(1+\mu)\,(D_2^2 - D_1^2)}{E\,(D_2^2 + D_1^2)} \qquad (3)$$

$$\Delta D_{min} = \frac{2F \cdot D^2}{\pi \cdot L \cdot f \cdot E\,(D_2^2 - D_1^2)} \qquad (2)$$

3 — Čep je od plastične mase, omotač metalan ⑥a:

$$\Delta D_{max} = \frac{\sigma \cdot D\,(1-\mu)\,(D_2^2 - D_1^2)}{E\,(D_2^2 + D_1^2)} \qquad (4)$$

$$\Delta D_{min} = \frac{F\,(1-\mu)}{\pi \cdot L \cdot f \cdot E} \qquad (5)$$

Upotrijebljeni simboli:

σ (kp/cm²)	dopušteno naprezanje plastične mase
E (kp/cm²)	modul elasticiteta plastične mase
f	koeficijent trenja među materijalima
μ	vrijednost poprečne kontrakcije
F (kp)	sila koja može razdvojiti spoj po dužini.

26.104 Lijepljenje. Dva ili više dijela izrađena od iste (eventualno različite) plastične mase moguće je međusobno zalijepiti uz upotrebu nekog ljepila (v. tablicu 1). Karakter mnogih primjenljivih ljepila zasniva se prvenstveno na adhezionoj sili između površinskih slojeva ljepljivog filma i dijelova koji se međusobno lijepe, kao i na kohezionoj sili ljepila.

Ljepila na bazi otapala za dotičnu plastičnu masu daju čvršći spoj. Makromolekule na površini predmeta, a pod utjecajem otapala, bubrenjem povećavaju volumen i oslabljuju međusobne čvrste veze. Ta pojava omogućuje njihovo prodiranje među makromolekule drugog predmeta (isto tako oslobođene međusobnih čvrstih veza), pod utjecajem sile. Makromolekule se međusobno isprepletu, a ishlapljivanjem otapala stvaraju se ponovno čvrste međumolekularne veze.

Površine koje se međusobno lijepe nekim ljepilom na bazi adhezije moraju se prethodno pripremiti.

1 — Mehanička priprema površine sastoji se u struganju smirkovim papirom, čime se postiže veća površina prianjanja, a hrapavost ujedno povećava adhezionu silu između graničnih površina ljepljivog filma i plastičnih dijelova. Upotrebljava se za dijelove od aminoplasta i fenoplasta.

2 — Kemijska priprema zahtijeva upotrebu nekog kemijski agresivnog spoja koji nagriza i stvara pukotine po površini plastičnog dijela, a rezultat je isti kao i kod mehaničke pripreme.

3 — Priprema površine plamenom i visokim naponom ima također kao krajnju svrhu najedanje površine.

26.105 Zavarivanje. Dijelovi izrađeni bilo od tvrde ili od mekane termoplastične mase mogu se međusobno zavariti ako se dva površinska sloja koji će direktno naleći jedan na drugi ugriju do temperature termoplastičnosti. Time se površinske molekule oslobode međusobnih čvrstih veza, tj. olabave. Određenim pritiskom na spojeno mjesto molekule se iz oba sloja međusobno isprepleću. Naknadnim hlađenjem javlja se opet međumolekularna veza, čiji je rezultat homogeni spoj. Greške u zavaru mogu nastati ako je površinski sloj preslabo ili pak prejako zagrijan. Slabo zagrijan sloj nije ni prešao iz krutog stanja u termoplastično dok prejako zagrijavanje razara materijal. Čvrstoća zavara ni u jednom ni u drugom slučaju ne odgovara vrijednostima koje se postižu pri ispravnom radu. Kao dobar smatra se onaj zavar koji ima faktor zavara (odnos čvrstoće zavara i čvrstoće osnovnog materijala) veći od 0,6.

Proces zavarivanja termoplastičnih masa ima ove faze:

— pripremanje površina koje se zavaruju
— zagrijavanje površinskog sloja budućeg zavara do temperature plastičnosti
— međusobno spajanje zagrijanih površina uz pripadajući pritisak
— ako je potrebno, i prisilno hlađenje s pritiskom ili bez njega.

Ljepila za plastične mase Tablica 1.

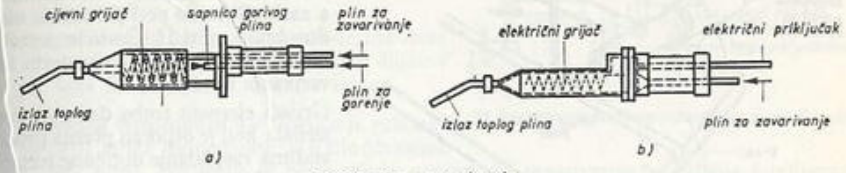
Vrsta plastične mase	Vrsta ljepila		Priprema ljepila, primjedbe
	Baza ljepila	Kemijski naziv	
Poliakrilati	otapala	kloroform, aceton, ledena octena kiselina, benzen, ksilen	Lijepi se otopinom dobivenom otapanjem poliakrilata u otapalu do željenog viskoziteta.
	akrilna smola		Lijepi se parcijalno polimeriziranom smolom uz dodatak katalizatora.
Polivinil-klorid (PVC)	guma		
	otapala	metil-keton, metilen-klorid, ciklo-heksanon	5—15% otopina PVC u otopini ili miješanim otapalima
Polistiren, polistiren otporan na udar	otapala	otapala koja se brzo suše: metilen-klorid, etil-acetat, metil-etil-keton, triklor-etilen, etilen-diklorid	Otapala koja se brzo suše daju spojeve velike čvrstoće, ali uzrokuju greške na površini. Ta pojava može se izbjeći miješanjem otapala, uključivši i otapalo koje slabo suši, etil-naftalen.
		srednje sušeća otapala: toluen, butil-acetat, ksilen, perklor-etilen	Ljepila koja služe za popunjenje otvora: otapanjem polistirena u otapalima do željenog viskoziteta (obično između 10 i 20% težinskog udjela)
Kopolimer stirena s akrilnitrilom (AS)	otapala	metil-etil-keton	Ljepila za popunjenje otvora: otapanjem AS u otapalima do željenog viskoziteta (obično između 10 i 20% težinskog udjela)
Tripolimer stirena, akrilnitrila i butadiena (ABS)	otapala	metil-etil-keton, metil-izobutil-keton	Ljepila za popunjenje otvora: otapanjem ABS u otapalima do željenog viskoziteta (obično 10 i 20% težinskog udjela)

(Nastavak) Tablica 1.

Vrsta plastične mase	Vrsta ljepila		Priprema ljepila, primjedbe
	Baza ljepila	Kemijski naziv	
Celulozni acetat, celulozni acetat butirat	otapala	aceton, etil-acetat, metil-acetat, etil-laktat	Pojedinačna otapala ili njihova mješavina. Ljepila za popunjenje otvora: otapanjem CA, odnosno CAB u otapalima
Celulozni nitrat	otapala	aceton, amil-acetat, etil-acetat	Ljepila za popunjenja otvora: otapanjem 10—25% težinskog udjela CN u otapalima
Etil-celuloza	otapala	alkohol, aromatski ugljikovodici, keton	
Celulozni film	otapala	metil celusoiv	
	ljepila topiva u vodi: želatina		
	emulziona ljepila		
Polikarbonat	otapala	metil-klorid, metil-etil-keton, cikloheksan	Ljepila za popunjenja otvora: otapanjem 10—25% težinskog udjela polikarbonata
Poliacetal	razna patentirana ljepila		potrebna je kemijska priprema površine prije nanošenja ljepila
Poliamid	razna patentirana ljepila		
	80—90% mravlja kiselina		Potrebno je držati u stezi međusobno lijepljene dijelove. Spoj je prilično slab.
Polietilen, polipropilen, fluorokarbonat	razna patentirana ljepila		Potrebna je priprema površine prije nanošenja ljepila i to, kemijskim putem, plamenom ili električnom iskrom. Spoj je prilično slab.
Poliuretan	razna patentirana ljepila		potrebno je pripremiti površine prije nanošenja ljepila
	80—90% mravlja kiselina		
Fenoplasti, melaminske smole	guma		
	specijalni otvrdivači na istoj bazi		Uz dodatak katalizatora pod utjecajem topline ili bez tog utjecaja

Ima više postupaka zavarivanja, koje karakterizira način zagrijavanja površinskog sloja.

Zavarivanje toplim plinom. Površine dijelova koje će se međusobno zavariti griju se toplim plinom pomoću pištolja za zavarivanje ⑦ab. Pritisak toplog plina na izlazu iz mlaznice je 0,5—5 N/cm² (0,05—0,5 at). Kao plin upotrebljava se zrak za tvrdi i omekšani PVC i niskotlačni polietilen, a ugljični dioksid za visokotlačni polietilen, polipropilen, poliamid i poliacetal. Komora za zagrijavanje plina u pištolju grije se gorivim plinom (metan, butan, propan, acetilen) ⑦a ili električnim putem ⑦b na temperaturu od kojih 100°C iznad temperature tečenja termoplastične mase koja se zavaruje (tablica 2).



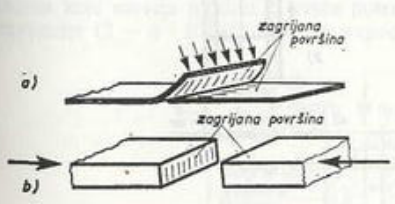
⑦ Pištolj za zavarivanje

Temperatura zagrijavanja plina za zavarivanje nekih termoplastičnih masa

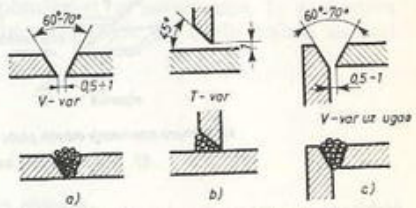
Tablica 2.

Plastični materijal koji se zavaruje	Temperatura zagrijavanja plina za zavarivanje u °C
PVC	200 do 250
Polimetakrilat	300 do 350
Polietilen	oko 300

Zagrijane površine međusobno se spajaju samo pod pritiskom ⑧a, b ili se varna šupljina ispunjava žicom za zavarivanje ⑨a, b, c i ⑩. Materijal žice odgovara sastavu materijala koji se zavaruje uz eventualni dodatak odgovarajućeg omekšivača. Promjer žice je između ø 1,5 i ø 4 mm, a ovisi o debljini materijala koji se zavaruje.



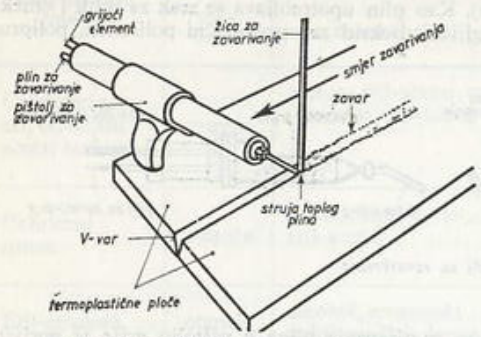
⑧ Zavarivanje pod pritiskom



⑨ Oblici zavara za zavarivanje žicom

Varni utori ⑨a, b, c izraduju se blanjanjem, grecanjem, turpijanjem i glodanjem. Osnovni oblici zavara sa žicom jesu V. X-i T ⑨a, b s varijantama kao npr. zavar uz ugao ⑨c.

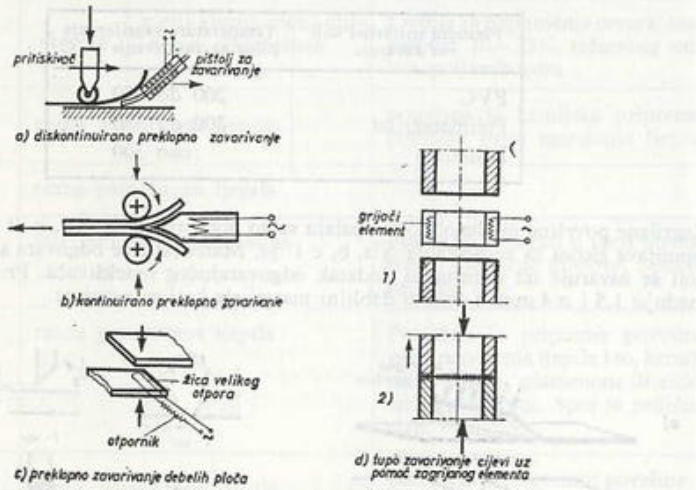
Neposredno prije nego će se zagrijavati, moraju se površine zavarivanja očistiti grecanjem ili smirkovim papirom. Isto vrijedi i za žicu, a to je posebno važno prilikom rada s polietilenima.



⑩ Način zavarivanja termoplastičnih ploča toplim plinom i žicom

Pri zavarivanju uz pomoć zagrijanih elemenata plohe koje će se spajati griju se izravno na neki od načina zagrijanim elementima, a zatim ih treba pod pritiskom međusobno spojiti ⑪. Često je potrebno držati pritisak dok se mjesto zavarivanja ne ohladi.

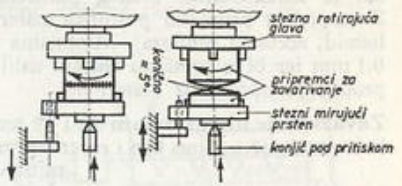
Grijaći element treba da je od materijala koji je otporan prema proizvodima raspadanja dotičnog termoplasta. U upotrebi se najboljim pokazao alitirani i poniklani bakar. Tokom rada potrebno je češće čeličnom četkom s elemenata ukloniti zaostale plastične čestice. Zavarivanje uz pomoć zagrijanog elementa može biti **preklopno** ⑪ab, koje se upotrebljava kod mekanih materijala (mekani PVC, visokotlačni polietilen) i malih debljina ploča, i **tupo** ⑪d za čeono zavarivanje tvrdih materijala u obliku cijevi, štapova i ploča. Preklopno zavarivanje može biti kontinuirano ⑪b, što se upotrebljava u konfekcijske svrhe, u industriji ambalaže i u slične svrhe, te diskontinuirano ⑪a, što se upotrebljava pri postavljanju plastičnih presvlaka (podovi, krovovi). Preklopno zavarivanje debljih ploča iz tvrdih plastičnih masa izvodi se polaganjem otporne žice po budućem mjestu zavarivanja ⑪c. Žica ostaje u zavaru pa je to skuplji način zavarivanja.



⑪ Neki sistemi zavarivanja plastičnih masa

Zavarivanje trenjem primjenjuje se prilikom zavarivanja rotacijskih, najčešće šupljih predmeta. Taj se postupak temelji na niskom koeficijentu provođenja topline kod termoplastičnih masa. Upotrebljiv je za tvrde plastične mase, koje se uslijed pritiska koji stalno djeluje tokom postupka ne deformiraju. Od dva dijela koji se međusobno zavaruju rotira samo jedan (ili oba, ali bitno različitih obodnih brzina), a drugi miruje tako dugo dok slojevi mjesta zavarivanja ne pređu u plastično stanje ⑫. Grijanje trenjem ne smije ići tako daleko da zavarni sloj koji se tare dobije tamnu boju jer se u tom slučaju materijal počinje raspadati, a rezultat je niska čvrstoća zavara. Čeonu plohu tankostijenih cijevi dobro je pripremiti ⑬ kako bi se dobila što veća površina zavarivanja.

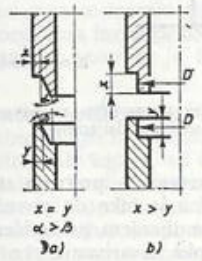
Puni profili treba da budu prethodno skošeni ⑫ tako da prvo budu u doticaju oni dijelovi plohe koji imaju manju obodnu brzinu.



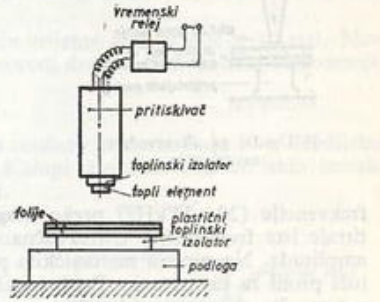
⑫ Zavarivanje trenjem rotacijskog punog profila

Toplotnim impulsom ⑭ moguće je prikladno zavariti tanke termoplastične folije (debljine 0,06 – 0,2 mm). Postupak se primjenjuje napose pri zavarivanju polietilena i polistirena, koji se ne mogu zavarivati visokofrekventnim postupkom.

Topli element grije se električnom strujom koja teče kroz grijač u trajanju od 0,1 do 1 s, što zavisi od debljine folije. Za vrijeme grijanja je pritiskivač s toplim elementom pritisnut na foliju. Kako su to tanke stijenke, materijal odmah prelazi u plastično stanje, a uslijed pritiska međusobno se zavaruje. Iza toplotnog impulsa dolazi vrijeme hlađenja pod pritiskom. To je potrebno da ne bi došlo do razvlačenja i oštećenja mjesta zavarivanja uslijed ljepljivog svojstva termoplastičnog materijala u plastičnom stanju.

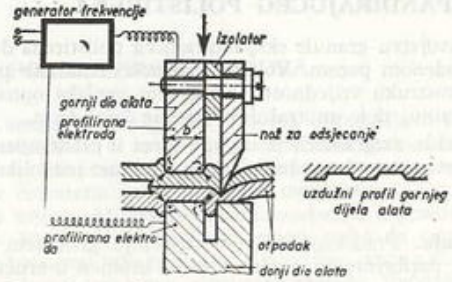


⑬ Priprema zavara za rotacijsko zavarivanje tankostijene cijevi



⑭ Uređaj za zavarivanje toplotnim impulsom

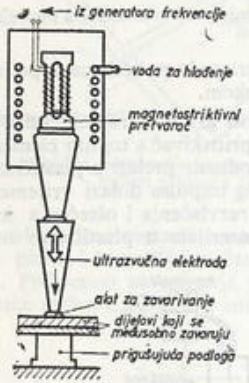
Postupak visokofrekventnog zavarivanja koristi se prisilnim međumolekularnim trenjem koje razvija toplinu i stvara potrebnu plastičnost za zavarivanje. Iz generatora frekvencije ($2 - 6 \cdot 10^7$ Hz) vodi se napon na dvije elektrode ⑮, među kojima su pod



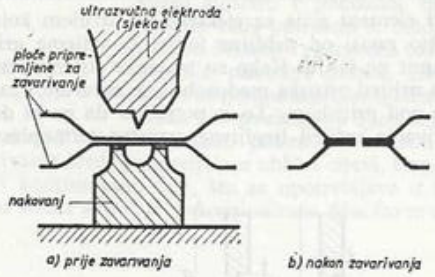
⑮ Postupak visokofrekventnog zarivanja termoplastičnih ploča

pritiskom ploče koje se međusobno zavaruju. Iskorištenje električne energije u materijalu (stvaranje međumolekularnog trenja) ovisi o vrijednosti dielektričnog gubitka (tg δ), što je karakteristika svakog plastičnog materijala. Što je veći tg δ, veće je i trenje. Za uspješnu primjenu postupka materijal mora imati tg $\delta \geqq 5 \cdot 10^{-2}$ (PVC, celuloid, poliamid, acetatna celuloza). Minimalna debljina ploča koje se zavaruju ograničena je sa 0,1 mm jer bi u protivnu slučaju uslijed napona koji vlada između elektroda došlo do probijanja iskre kroz materijal.

Zavarivanje ultrazvukom ⑯ i ⑰ temelji se na međumolekularnom trenju koje uzrokuje stvaranje topline, kao i na trenju među plohama predmeta koji se međusobno zavaruju. Veći dio topline dolazi od trenja među plohama pa se pri zavarivanju tim postupkom, ako se međusobno zavaruju dva razna materijala, uz ultrazvučnu elektrodu stavlja materijal koji ima višu temperaturu omekšanja. Iz generatora frekvencije struja se visoke



⑯ Uređaj za ultrazvučno zavarivanje



⑰ Elektroda za ultrazvučno zavarivanje uz istodobno odsijecanje

frekvencije (20 – 24 kHz) preko magnetostriktivnog pretvarača pretvara u mehaničke titraje iste frekvencije. Ultrazvučna elektroda oblikovana je tako da povećava titrajne amplitude. Na njoj je mehaničkim putem ili tvrdim lemljenjem pričvršćen odgovarajući profil za zavarivanje. Prednost ultrazvučnog postupka zavarivanja pred drugima je u tome što se mogu međusobno zavariti i različite vrste plastičnih masa. Moguće je zavariti plastične mase s materijalima kao što su npr. papir, drvo, koža, tekstil pod utjecajem pritiska i energije ultrazvuka. Plastične mase upršavaju se u pore spomenutih materijala.

Kombinacija zavarivanja uz odsijecanje prikazana je na ⑰.

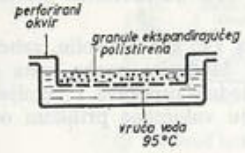
26.11 PRERADA EKSPANDIRAJUĆEG POLISTIRENA

Prerada se temelji na svojstvu granule ekspandirajućeg polistirena da bubri u dodiru sa vrućom vodom ili s vodenom parom. Volumen se nekontrolirano povećava na deseterostruku do četrdeseterostruku vrijednost. Bubrenjem vanjska opna ostaje zatvorena i zrno povećava zapremninu, dok unutrašnjost postaje šupljikava.

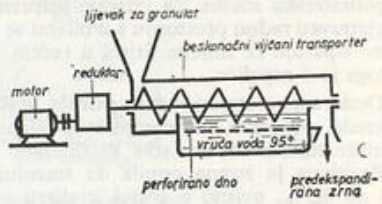
Tehnološki proces prerade razgraničen je u dvije faze: u predekspandiranje i u završnu ekspanziju. Prerada izvršena samo u jednoj fazi ne ostvaruje jednoliku gustoću konačnog proizvoda.

26.111 Predekspandiranje. Predekspandiranje započinje grijanjem granulata ekspandirajućeg polistirena u perforiranom okviru koji je uronjen u vruću vodu temperature 95°C ①. Optimalno se uzima na 1 m² vodene površine 500 g zrna za predekspandiranje.

Vrijeme procesa pri toj temperaturi je 10 min, što daje rezultat od 200 g/l nasipne težine nabubrenih zrna. Niža radna temperatura zahtijeva i duže radno vrijeme. Kontinuirano predekspandiranje omogućeno je uređajem na ②. Reguliranjem brzine beskonačnog vijčanog transportera regulira se potrebno vrijeme radne operacije.



① Uređaj za predekspandiranje granula ekspandirajućeg polistirena u vrućoj vodi



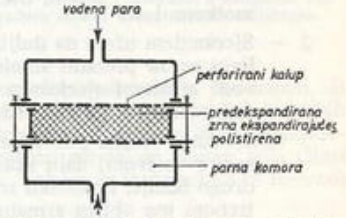
② Uređaj za kontinuirano predekspandiranje granula ekspandirajućeg polistirena

Predekspandiranje u vodenoj pari obavlja se tako da se granule ekspandirajućeg polistirena razastru po situ u sloju debljine 3 – 5 mm i ono se unese u parnu komoru. Temperatura pare je između 100 i 107°C. Zadržavanje u takvoj parnoj komori traje 2 do 8 minuta.

Nakon završene prve faze zrna se moraju osušiti. To napose vrijedi za ona zrna koja su predekspandirana u vrućoj vodi. Ako je vrijeme predekspandiranja u vodenoj pari veće od 10 minuta, treba je sušiti.

U međufazi zrna se moraju stabilizirati. Najmanje vrijeme stabilizacije je 10 sati. Normalno se prva faza izvrši prvi dan, a drugog se provodi druga faza konačnog oblikovanja. Maksimalan rok upotrebe je 14 dana.

26.112 Konačno oblikovanje. Predekspandirana i osušena zrna stavljaju se u dvodijelne ili višedijelne kalupe radi konačnog oblikovanja. Kalupi se obično rade od lakih metala, npr. aluminijevih legura, ali i od čelika i mjedi. Stijenke kalupa perforirane su rupama ⌀1,5 na razmacima od 10 do 20 mm. Vijcima ili na sličan način zatvoreni kalup unosi se u komoru, u koju se pušta vodena para temperature 110 do 120°C pritiska 8 – 10 N/cm² (0,8 do 1,1 at) ③. Konačno ekspandiranje traje 5 do 60 sekundi, ovisno o debljini konačnog proizvoda. Kalup se prije otvaranja, a nakon vađenja iz parne komore, mora hladiti strujom zraka ili hladnom vodom, dok mu se temperatura ne spusti ispod 50°C. Tek tada je proces završen.



③ Parna komora s kalupom za konačno oblikovanje proizvoda izrađenih od ekspandirajućeg polistirena

26.12 PRERADA POLIESTERSKIH SMOLA

26.121 Priprema smjese. Kao glavna sirovina upotrebljava se nezasićena poliesterska smola srednjeg viskoziteta. U kruto stanje određenih mehaničkih svojstava dolazi nakon kemijske reakcije polimerizacije, koja započinje pošto se u smolu dobro umiješao katalizator i kad je ostvarena potrebna radna temperatura. Dodavanje katalizatora smoli zove se priprema smjese. Miješanje se obično obavlja u plastičnoj posudi, koja se može naknadno oprati. Količina pripremljene smjese treba da odgovara količini koja će se preraditi. Ako se pripremi više nego što je potrebno, zbog relativno brzog otvrdnjavanja višak će se morati baciti kao neupotrebljiv za preradu. Početak kemijske reakcije očituje

se pojavom želiranja (viskozitet u početku raste, a zatim opada) uz povećanje temperature smjese kao popratne pojave. Potrebna radna temperatura prostorije je najmanje + 18°C. Ako se smjesi dodaje ubrzivač, ubrzava se i kemijski proces. Ubrzivač se ne smije posebno miješati s katalizatorom jer oni zajedno stvaraju eksplozivnu smjesu. Iz tog razloga potrebno ih je pojedinačno, u propisanom težinskom omjeru, umiješati u poliestersku smolu. Za vrijeme pripreme smjese i tokom prerade obvezatno treba provjetravati radnu prostoriju a u blizini se ne smije paliti vatra zbog stirola, koji se intenzivno isparuje iz smjese. Stirol u većem koncentratu ostavlja fiziološke posljedice, a osim toga je i zapaljiv.

Dodavanjem smjesi raznih **punila** praškastog oblika, kao što su kaolin, azbestno brašno, kreda, pijesak i sl. smanjuje se cijena proizvoda. Međutim, svaka vrsta punila smanjuje mehanička svojstva katalizirane smole, a ujedno usporava i kemijsku reakciju. Pozitivna je strana punila da smanjuje kontrakciju volumena prilikom otvrdnjavanja i na 0,5%, ovisno o svojoj kvaliteti i količini.

Tekuće nezasićene poliesterske smole su bezbojne ili slabo žute boje. Mogu se **obojiti** transparentno (bojama koje su topljive u uljima, npr. Sudan-bojama) i pokriveno. Boje koje pokrivaju na bazi su organskih i anorganskih pigmenata. Da bi se smole homogeno obojile, potrebno je pigmente sa smolom razribati na trovaljcima. Na taj način postiže se jednolika obojenost proizvoda po cijelom presjeku. Proizvod je, međutim, moguće obojiti samo po površinskom sloju upotrebom tzv. gel-coata. Na površinu kalupa u kojem se oblikuje proizvod nanese se tanak sloj katalizirane smole u boji željenog tona pa se ostavi neko vrijeme da otvrdne. Nakon toga se nanosi neobojena katalizirana smola, što omogućava kontrolu rada (stvaranje mjehurića).

Upotrebom **armature** povećavaju se mehanička svojstva proizvoda i omogućuje se upotreba tankih stijenki. Kao armatura služi **staklено vlakno,** koje je po kemijskom sastavu od aluminijborosilikatnog stakla s malim sadržajem alkalija (maks. 0,8% alkalnog oksida). Vlakna su ispredena od tankih niti (⌀5—9 μm). Za praktičnu upotrebu staklena vlakna se javljaju u slijedećim oblicima:

1 — **Stakleno uže** (roving) isprepleteno od kojih 10 000 niti. Upotrebljava se za armiranje proizvoda koji su napregnuti na vlak ili na savijanje u ravnini uzduž osi niti. To su razne cijevi, profilni nosači, skije, štapovi za pecanje, skijanje, za skok motkom i sl.

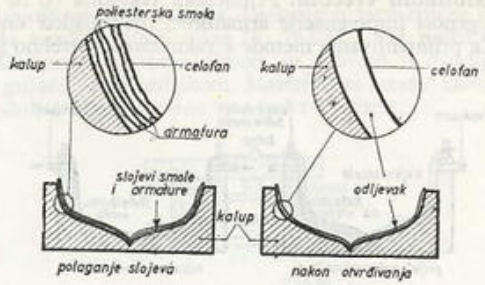
2 — Sjeckanjem užeta na duljinu od 2 do 5 cm dobiva se **sjeckano vlakno.** Upotrebljava se za preradu smole kontaktnim postupkom i prskanjem pištoljem. Proizvodi armirani sjeckanim vlaknom imaju povećana mehanička svojstva u svim smjerovima u ravnini kroz osi niti.

3 — Sjeckana vlakna povezana međusobno prskanim vezivom, valjana i u peći otvrdnutim vezivom, daju **staklenu hasuru** (mat), koja se može krojiti kao i svako drugo tkanje. Proizvodi se u raznim debljinama, a računa se težinski u g/m². Upotrebom tog oblika armature mehanička se svojstva povećavaju u odnosu prema 2 — pa i rad je čišći.

4 — Tkanjem vlakana na principu suknenih tkanina dobiva se **stakleno tkanje,** koje kao armatura osigurava proizvodu visoka mehanička svojstva u ravnini uzduž osi niti. Kroji se kao tekstilna tkanina.

Koji će se način prerade upotrijebiti za izradu nekog proizvoda, ovisi o broju komada u seriji, o veličini proizvoda, o potrebnoj kvaliteti i o izgledu površine te o vremenu u kojem određeni broj komada treba izraditi.

26.122 Ručni postupak. Ručni (kontaktni) postupak ① primjenjuje se zbog jednostavnosti i ekonomičnosti za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju, kao i za proizvode velikih površina. Katalizirana smola nanosi se po kalupu u slojevima s armaturom pomoću četke sve dok se ne postigne željena debljina. Zaostali zračni mjehurići istiskuju se valjanjem plastičnim rolerima. Pošto je katalizirana smola otvrdnula (2—3 sata), proizvod se može izvaditi iz kalupa. Međutim, konačno sazrijevanje materijala na normalnoj

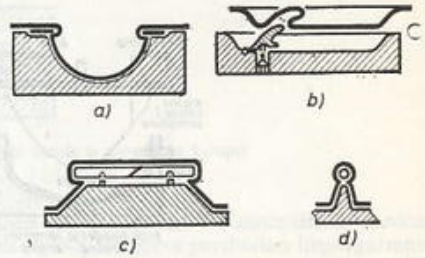


① Proizvod izrađen ručnim (kontaktnim) postupkom

temperaturi (otprilike 20°C) traje 2—4 tjedna. Tek tada je materijal potpuno stabiliziran. Sazrijevanje se ubrzava (čak na dva sata) u sušioniku na temperaturi od 80°C. Prisilno sušenje iskrivljuje velike plohe pa se u tim slučajevima preporučuje prirodno sazrijevanje.

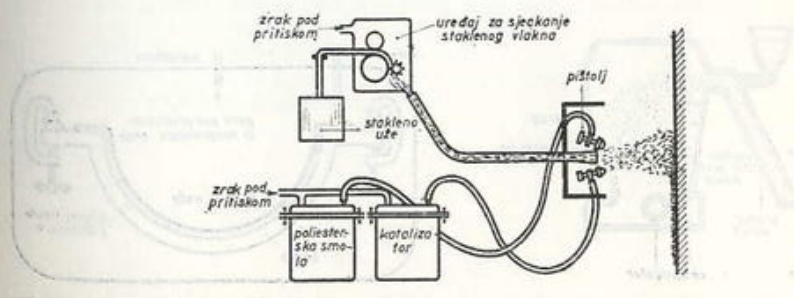
Tim postupkom izrađeni proizvodi zahtijevaju naknadnu obradu u obliku obrezivanja rubova. Obrezivanje se obavlja tračnom pilom ili na glodalici.

Kalupi za preradu ručnim postupkom su jednodijelni. Materijal za izradu kalupa je katazirana poliesterska smola armirana staklenim vlaknom, drvo, ekspandirani polistiren, gips i sl. Površine moraju biti glatke, lakirane i premazane odjeljivačem (npr. parafin otopljen u benzinu). Neka konstruktivna rješenja kalupa prikazana su na ②.



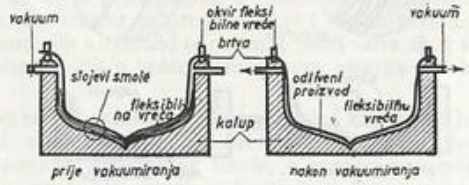
② Primjeri pomičnih umetaka u kalupima koji omogućuju izradu kompliciranih odljevaka

26.123 Nanošenje prskanjem. Nanošenje katalizirane poliesterske smole prskanjem ③ automatizirani je ručni postupak. Ekonomičan je za izradu proizvoda srednjih i velikih ploha u kalupima, a napose je upotrebljiv u građevinarstvu (za izradu izolacijskih slojeva) jer je uređaj prenosivog tipa. Ravnomjernim radom nanosi se smjesa koja izlazi iz pištolja u željenoj debljini na podlogu ili na kalup. Tokom rada potrebno je rolerom istiskivati zračne mjehuriće.



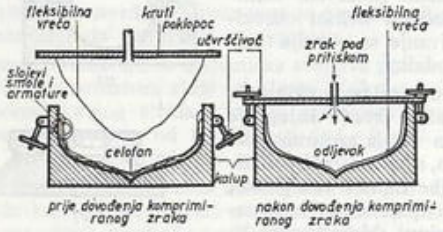
③ Uređaj za istodobno prskanje i kataliziranje poliesterske smole i staklene armature

26.124 Prerada fleksibilnom vrećom. Primjenom vakuuma ④ ili primjenom pritiska ⑤ postiže se homogenost impregnacije armature i lijep izgled one površine koja ne naliježe na kalup. Za primjenjivanje metode s vakuumom potrebno je osigurati otprilike



④ Postupak pri radu fleksibilnom vrećom uz primjenu vakuuma

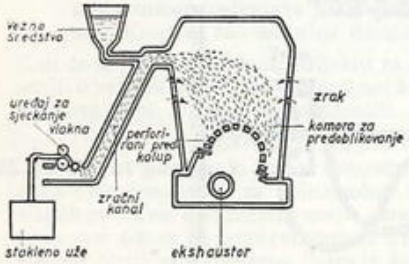
4 N/cm² (0,6 at) potpritiska. Primjenom metode s pritiskom dovodi se komprimirani zrak od 20 – 30 N/cm² (2 – 3 at). Dovođenjem zasićene vodene pare umjesto zraka ubrzava se proces polimerizacije. Eventualni višak katalizirane smole istekne na preljev koji treba predvidjeti na kalupima.



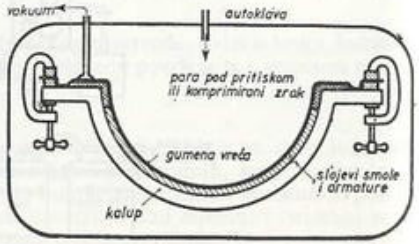
⑤ Postupak pri radu fleksibilnom vrećom uz primjenu komprimiranog zraka

Ubrzavanje rada obiju postupaka omogućeno je predoblikovanjem armature u posebnim uređajima ⑥. Veličina i oblik kalupa za predoblikovanje isti su kao i kod radnog kalupa. Predoblikovana armatura polaže se u radni kalup, a na nju se nalije katalizirana smola.

26.125 Prerada u autoklavu. Kombinacija postupka pomoću vakuuma s radom u autoklavu ⑦ ubrzava proces dozrijevanja i daje kvalitetne proizvode.

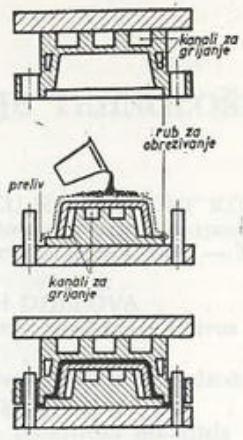


⑥ Uređaj za predoblikovanje armature



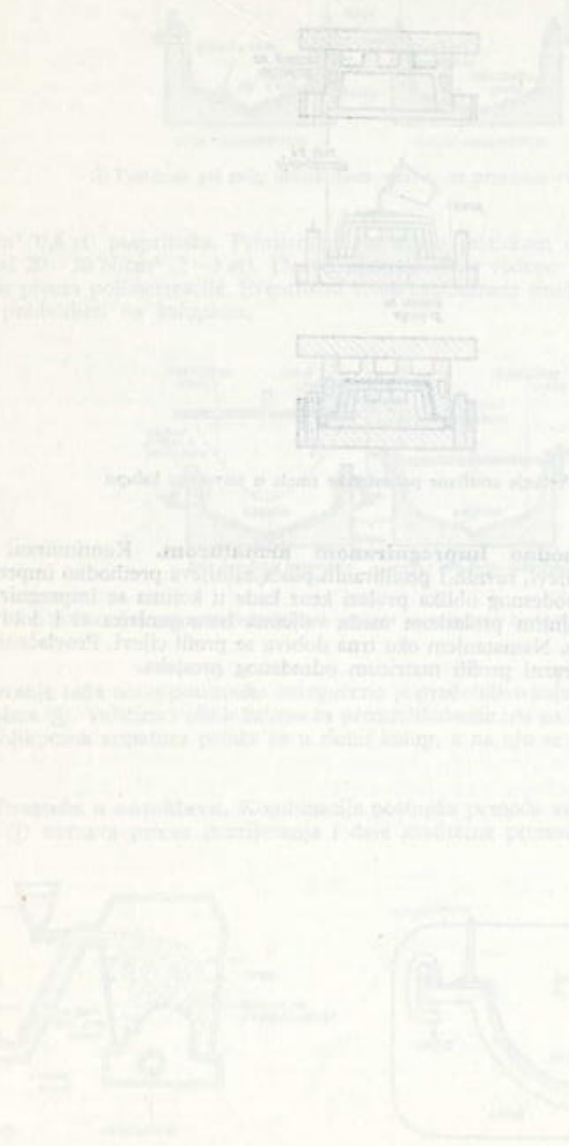
⑦ Postupak pri radu vakuumiranjem u autoklavu

26.126 Prešanje u zatvorenom kalupu. Prešanje u zatvorenom kalupu ⑧ je varijanta direktnog prešanja termostabilnih masa (v. 26.031). Taj postupak zahtijeva u većini slučajeva predoblikovanje armature. Proces se provodi u dvodijelnim kalupima, koji imaju komore za grijanje, pod pritiskom. Materijal za izradu kalupa je čelik. Proizvodi imaju homogeni sloj, a obje površine su visoke kvalitete.



⑧ Prešanje armirane poliesterske smole u zatvorenu kalupu

26.127 Prerada prethodno impregniranom armaturom. Kontinuirani proces izrade raznih profila cijevi, ravnih i profiliranih ploča zahtijeva prethodno impregniranje armature. Armatura podesnog oblika prolazi kroz kade u kojima se impregnira kataliziranom smolom. Daljnjim prolaskom među valjcima homogenizira se i dobiva određenu debljinu stijenke. Namatanjem oko trna dobiva se profil cijevi. Provlačenjem kroz matricu dobivaju se razni profili matricom određenog presjeka.



GORNIK Boris, dipl. inženjer strojarstva

PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA

27.01 FAKTORI KOJI UTJEČU NA TOČNOST KOD OBRADE 891
Sile kod obrade — Krutost sistema stroj-naprava-izradak-alat — Točnost alatnog stroja i pribora, stezanja izratka, alata — Temperatura — Zajedničko djelovanje

27.02 TOČNOST IZRAĐENIH DIJELOVA 893
Točnost jednog izratka i serije izradaka — Aktivna kontrola procesa

27.03 DODACI ZA OBRADU 895
Pojam — Dodatak za operaciju — Ukupni dodatak

27.04 ISKORISTIVOST MATERIJALA 896
Izbor oblika pripremka — Iskorištenje materijala

27.05 BAZE I MJERE 898
Pojam baze — Konstruktivne, tehnološke i kontrolne baze — Izbor baze

27.06 OPERACIJE 899
Pojam — Radno mjesto — Režim rada — Vrijeme izrade — Pomagala

27.07 TEHNOLOŠKI I PROIZVODNI PROCES 901
Vrste događaja — Tehnološki i proizvodni proces — Automatizirana proizvodnja

27.08 PRINCIPI PROJEKTIRANJA TEHNOLOŠKOG PROCESA 903
Tipovi proizvodnje — Protočna proizvodnja — Koncentracija i podjela operacija — Redoslijed obrade

7.09 TEHNOLOŠKA DOKUMENTACIJA 904
Operacijski i instrukcijski list — Redoslijed operacija — Pregled alata — Narudžba alata i naprava — Karta kontrole i transporta — Prijedlog za izmjene i obavijesti o izmjeni

27.10 POMAGALA U RADU TEHNOLOGA 907
Uzorni procesi — Podaci o režimu rada — Elementi vremena izrade — Kartoteka — Plan poduzeća

27.11 GRUPNA TEHNOLOGIJA 908
Ideja tipizacije — Tipovi dijelova — Kompleksni dio — Tipični proces — Grupni proces — Grupne naprave

Literatura

1 — *Đurašević A.:* »Projektiranje tehnološkog procesa« (skripta). Izdanje Visoke tehničke škole, Zagreb 1961.

2 — *Đurašević A.:* »Određivanje dodataka za obradu« I i II dio. Izdanje »Birozavoda«, Zagreb 1959.

3 — *Gornik B., Hrabrić A.:* »Projektiranje tehnoloških procesa«. Izdanje »Privrede«, Zagreb 1962.

4 — *** »Spravočnik tehnologa mašinostroitelja«, tom I i II. Izdanje »Mašgiza«, Moskva 1963.

5 — *Mitrofanov S. P.:* »Naučnye osnovy gruppovoj tehnologii«. Izdanje »Lenizdata«, Lenjingrad 1959.

OZNAKE:

		Jedinica mjere
d	promjer	mm
F	sila	kp
$G_č$	konstruktivna težina	kp
G_k	kalkulativna težina	kp
G_o	sirova težina	kp
H	hrapavost površine	μm
j	krutost	kp/mm
T	oštećeni sloj	μm
T_{pz}	pripremno — završno vrijeme	min
t_{kom}	komadno vrijeme	min
Y	deformacija	mm
η_k	ukupna iskoristivost materijala	—
η_o	iskoristivost sirovog materijala	—
η_p	iskoristivost materijala u pripremnom procesu	—

27 PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA

27.01 FAKTORI KOJI UTJEČU NA TOČNOST PRI OBRADI

27.011 Sile pri obradi

Pri većini tehnoloških procesa koji se u praksi primjenjuju za obradu metala pojavljuju se sile obrade. One djeluju na cjelokupan sistem koji sudjeluje u obradi (stroj-naprava-izradak-alat), deformirajući pri tom pojedine elemente sistema. Veličina deformacije zavisi između ostalog i od veličine, pravca i smjera djelovanja tih sila. Jasno je, dakle, da će od njih zavisiti i točnost pri obradi.

Na veličinu, pravac i smjer djelovanja sila pri obradi djeluje čitav niz faktora koji se međusobno isprepliću i ne mogu se obuhvatiti jednostavnim matematičkim izrazima. Zato uobičajene formule za izračunavanje sila pri obradi, koje se mogu naći u raznim priručnicima, obuhvaćaju redovito samo najutjecajnije faktore. Brojčane vrijednosti pojedinih konstanti u tim izrazima dobivene su eksperimentalnim putem uz određene uvjete i vrijede samo u tim uvjetima. Želimo li odrediti veličine sila za naš slučaj obrade, moći ćemo ih pomoću tih formula odrediti samo približno, dok će njihovo tačnije određivanje uvijek zahtijevati eksperimente. Najčešće ćemo se ipak zadovoljiti izračunavanjem sila prema podacima iz raznih priručnika jer je taj način najjeftiniji i najbrži, a u najvećem broju slučajeva daje i točnost koja zadovoljava.

27.012 Krutost sistema stroj-naprava-izradak-alat

Pod pojmom krutosti razumijevamo otpor protiv deformacije pod djelovanjem sila. Što je veća krutost nekog sistema, to će, uz inače istu silu, biti manja njegova deformacija. Veličina krutosti definira se stoga odnosom veličine sile i deformacije u smjeru djelovanja sile:

$$j = \frac{F_y}{Y} \quad [\text{kp/mm}]$$

Suprotan pojam od krutosti je podatljivost. To je zapravo recipročna vrijednost krutosti:

$$\frac{1}{j} = \frac{Y}{F_y} \quad [\text{mm/kp}]$$

Podatljivost pokazuje koliko će se neki sistem deformirati pod djelovanjem jedinične sile.

Veličina krutosti cjelokupnog sistema zavisi od krutosti svakog pojedinog elementa koji sudjeluje u sistemu i od krutosti dosjednih ploha između tih elemenata (pokazuje se da se dosjedne plohe, zbog postojećih neravnina na njima, doimaju poput elastičnih spojeva i da se deformiraju pod djelovanjem sila). Ukupna krutost sistema uvijek je manja od krutosti bilo kojeg elementa sistema, uključivši ovdje i dosjedne plohe. Poznavajući veličine krutosti pojedinih elemenata, nismo u mogućnosti (iz naprijed spomenutog razloga) da izračunamo krutost cjelokupnog sistema zbrajanjem pojedinačnih krutosti. Krutost sistema određuje se indirektno iz veličine podatljivosti. Kako je ukupna deformacija sistema jednaka sumi deformacija svih elemenata tog sistema, to je i ukupna podatljivost jednaka sumi pojedinačnih podatljivosti.

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} + \cdots = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{j_i}$$

Odavde se određuje krutost cjelokupnog sistema kao recipročna vrijednost izračunate podatljivosti.

Za određeni sistem krutost nije konstantna. Njena veličina mijenja se zavisno od mjesta na kojemu djeluje sila, kao i od pravca djelovanja sile. Za određivanje utjecaja veličine krutosti na točnost mjerodavno je mjesto najmanje krutosti na kojemu u toku obrade djeluje sila.

Veličina krutosti u praksi se najčešće određuje eksperimentalnim putem. Veoma je malen broj slučajeva u kojima se ona može bar približno izračunati iz poznatih formula. Najveća nepoznanica pri tome su dosjedne površine. Njihove krutosti toliko variraju (zbog velikih varijacija u njihovoj geometrijskoj točnosti i hrapavosti površine) od slučaja do slučaja da se krutosti inače jednakih alatnih strojeva međusobno znatno razlikuju. Zbog toga svako iole točnije određivanje krutosti sistema (i veličine njegove deformacije za vrijeme obrade) zahtijeva eksperimentalno određivanje krutosti svakog pojedinog alatnog stroja.

27.013 Točnost alatnog stroja i pribora

Iako se u proizvodnji alatnih strojeva velika pažnja posvećuje postizavanju visoke točnosti, nema apsolutno točnih strojeva. Gotovi alatni strojevi pri preuzimanju podvrgavaju se strogoj kontroli, a dopuštene greške kreću se u vrlo uskim granicama. Unatoč tako visokoj preciznosti alatni stroj i pribor stroja također su uzročnici grešaka. One nastaju zbog toga što stvarna putanja alata u odnosu prema izratku odstupa od zamišljene idealne putanje, pa to uzrokuje greške geometrijskog oblika izratka.

Upotrebom alatnog stroja i pribora njihove točnosti se smanjuju pa se time povećavaju i greške izradaka koji se na njima obrađuju. Smanjivanje točnosti alatnog stroja u toku eksploatacije izazvano je uglavnom slijedećim uzrocima:

1 — istrošenjem površina vodilica
2 — povećavanjem zračnosti u ležajima
3 — popuštanjem spojeva
4 — pogrešnim temeljenjem stroja.

Pri izboru stroja za obavljanje neke operacije tehnolog mora paziti da točnost koju je dotični stroj u stanju osigurati pri normalnom radu (bez posebne pažnje) bude u skladu sa zahtijevanom točnošću izrade dijelova. Inače će doći ili do pada proizvodnosti rada (zbog velike pažnje koju će radnik trebati da obrati izradi) ili do nenormalno visokog postotka škarta. Ni jedno ni drugo nije ekonomično, jer stvara osjetno povećanje troškova proizvodnje.

27.014 Točnost stezanja izratka

Točnost kinematske sheme obrade (relativnog kretanja alata i izratka) ne zavisi samo od točnosti alatnog stroja i pribora. Početni položaj izratka u odnosu prema alatu (prije početka obrade) u velikoj mjeri utječe na točnost koja će se obradom postići. Točnost početnog položaja zavisi od točnosti stezanja izratka. Kako se ono redovito izvodi u nekoj napravi (univerzalnoj ili specijalnoj), potrebno je obratiti punu pažnju pravilnom izboru naprave. Ona mora biti bar za 1—2 klase točnija od točnosti koje se pri obradi zahtijevaju. Posebnu pažnju treba obratiti načinu stezanja, kako sile stezanja ne bi izazvale deformacije izratka.

27.015 Točnost alata

Ako dimenzija ili geometrijski oblik izratka zavise izravno od dimenzije, odnosno od geometrijskog oblika alata, greška alata direktno uzrokuje grešku izratka. To se događa npr. pri bušenju rupa spiralnim svrdlom, pri obradi rupa razvrtačem, pri izradi navoja nareznim svrdlima, pri obradi fazonskih površina raznim fazonskim alatima itd. Greške na izratku u svim tim slučajevima redovito su veće nego greške samog alata. Zato treba uvijek paziti na to da točnost alata bude u tim slučajevima bar za 1—2 klase veća od točnosti koje se traže od izradaka.

Na izrađenim dijelovima doći će do pojave grešaka i uslijed trošenja alata u toku obrade. Zbog trošenja alata mijenja se u toku obrade njegov položaj u odnosu prema izratku pa se kao posljedica te pojave javlja greška geometrijskog oblika izratka. To će naročito doći do izražaja pri obradi velikih površina, gdje je put oštrice alata u toku obrade velik pa je veliko i njeno trošenje. U takvim slučajevima treba izvidjeti mogućnost smanjenja puta oštrice (npr. povećanjem posmika), a ako ni to ne zadovoljava, treba smanjiti brzinu rezanja kako bi se povećala trajnost oštrice alata.

27.016 Temperatura

Pri obradi skidanjem strugotine najveći dio energije utrošene u procesu pretvara se u toplinu. Dio te topline prelazi na alat i izradak, povisuje im temperaturu i time mijenja njihove dimenzije. Kod nekih procesa obrade metala namjerno se dovodi toplina i zagrijava izradak. Osim toga, u mehanizmima alatnog stroja uslijed trenja njegovih dijelova u radu također se stvara toplina i zagrijava stroj, a to mijenja njegovu točnost.

Očito je da se u spomenutim slučajevima događaju promjene u dimenzijama izratka i alata te u geometrijskoj točnosti stroja, a to mora imati za posljedicu i promjenu u rezultatu samog procesa u smislu promjene postignute dimenzije i geometrijskog oblika izratka. Treba napomenuti da se u toku procesa neprestano stvara toplina i da se temperatura neprekidno mijenja, a da se u razdobljima kratkotrajnih ili dužih prekida rada cijeli sistem hladi pa, prema tome, imamo stalnu promjenu temperature za vrijeme obrade. U skladu s tim varirat će i postignuti rezultati.

27.017 Zajedničko djelovanje svih faktora koji utječu na točnost obrade

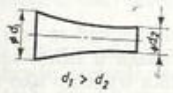
Osim spomenutih utjecajnih faktora postoje još i drugi koji također utječu na točnost pri obradi, ali je njihov utjecaj obično slabiji ili se pak pojavljuju samo u nekim slučajevima obrade i ne postoje uvijek.

Izrađeni dio dobiva dimenzije i oblik koji su rezultat svih faktora koji su u toku procesa djelovali na to. Kad bi se greške što nastaju pod djelovanjem svakog pojedinog faktora jednostavno zbrajale, dobili bismo veoma velike netočnosti izradaka. Na našu sreću, greške što ih pojedini faktori uzrokuju imaju različite karaktere (neke npr. povećavaju postignutu dimenziju, a neke je smanjuju) pa ukupna greška nije tako velika. To omogućava da se ipak dobivaju izraci točnosti koja zadovoljava.

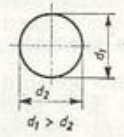
27.02 TOČNOST IZRAĐENIH DIJELOVA

27.021 Točnost jednog izratka

Kada se u proizvodnji govori o točnosti nekog dijela, najčešće se misli na to da li postignuta dimenzija zadovoljava zahtjeve definirane na crtežu. Pri tom treba imati na umu da na realnom izratku stvarna dimenzija neke površine nije jednoznačna. Uzimamo kao primjer cilindričnu površinu (ona se najčešće susreće u konstrukcijama strojnih dijelova). Mjerimo li dovoljno precizno promjer na dva različita mjesta u uzdužnom presjeku, nećemo izmjeriti jednake vrijednosti. Zbog grešaka geometrijskog oblika površina nije



① Greška geometrijskog oblika u uzdužnom presjeku



② Greška geometrijskog oblika u poprečnom presjeku

potpuno cilindrična, nego njezin promjer varira ①. Isto se dešava i u poprečnom presjeku, gdje nećemo imati kružni, nego ovalni oblik ②. (Greške geometrijskog oblika prikazane su na ① i ② karikirano, da bi se lakše uočilo o čemu se radi.) Greške geometrijskog oblika izratka nastaju zbog promjene pojedinih faktora koji utječu na točnost u toku obrade. Njihovo kombinirano djelovanje daje realan izradak, čija dimenzija varira na različitim mjestima mjerenja.

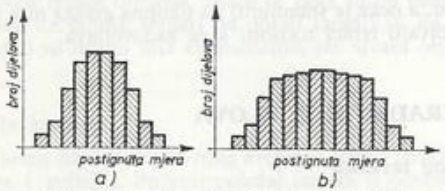
Iz pomenutih razloga treba pri mjerenju uvijek voditi brigu o tome da to isto treba po mogućnosti obaviti na nekoliko mjesta. Varijacije dimenzije moraju biti uvijek manje od dopuštene greške dimenzije za seriju izrađenih dijelova.

27.022 Točnost serije izradaka

Kad govorimo o točnosti serije izradaka, moramo imati na umu da se ovdje utjecajni faktori mijenjaju u mnogo većoj mjeri nego li je to slučaj kod pojedinog izratka. Osim toga, ovdje se javlja još i djelovanje slučaja za koji nikada unaprijed ne znamo kako će djelovati, ali znamo sigurno da će se pojaviti.

Ako neki od utjecajnih faktora utječu u znatnijoj mjeri na točnost izrađenih dijelova, njegova je promjena u toku vremena uvijek u istom pravcu (npr. neprekidno povećava dimenziju izrađenih dijelova), dijelovi izrađivani jedan za drugim imat će sve veću dimenziju. U tom slučaju govorimo o djelovanju sistematskog faktora. Ako se pak dimenzije uzastopce izrađivanih dijelova mijenjaju tako da se one čas povećavaju, a čas smanjuju (pri tome se ne može utvrditi nikakva zakonitost iz koje bismo mogli unaprijed pretpostaviti hoće li slijedeći dio imati veću ili manju dimenziju od prethodnog), govorimo o djelovanju slučaja.

Posljedica djelovanja spomenutih faktora jesu izraci koji imaju različite dimenzije, a te varijacije su mnogo veće nego što su na jednom izratku. Kao rezultat dobiva se serija izrađenih dijelova čije dimenzije se u određenim granicama međusobno razlikuju. Izmjerimo li izrađene dijelove pa dobivene mjere svrstamo u razrede, dobit ćemo statistički skup dimenzija tih dijelova. Na ③ prikazana su dva tipična slučaja koji se pri tome javljaju. Na apscisu su nanesene dobivene mjere, a na ordinatu broj dijelova čije su se mjere našle u svakom pojedinom razredu (prikazano u obliku stupca). Razdiobu prema slici (a) dobivamo kad je u toku procesa djelovao samo slučaj, a razdiobu prema slici (b) kad se pojavio i neki sistematski faktor.

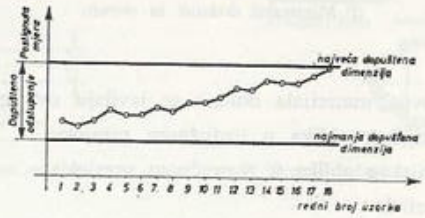


③ Razdioba postignutih mjera serije izrađenih dijelova

27.023 Aktivna kontrola tehnološkog procesa

Pojave koje smo opisali u prethodnoj točki nastupaju uvijek kad se radi o seriji izradaka. Iz ③ se vidi da će razlike postignutih dimenzija izradaka u nekoj seriji biti veće ako je u toku obrade djelovao neki sistematski faktor (slika b) nego ako je djelovao samo čist slučaj (slika a). Koja će od te dvije mogućnosti u konkretnom slučaju nastupiti, nije nam unaprijed poznato. To ćemo konstatirati tek pri samoj obradi. Izvršimo li kontrolu tek nakon završetka obrade, ustanovit ćemo, doduše, koji slučaj je nastupio, ali nećemo moći više ništa učiniti. Ako je djelovao sistematski faktor, dobit ćemo mnogo veća odstupanja postignutih dimenzija izrađenih dijelova.

Želimo li smanjiti rasipanje dimenzija, pribjeći ćemo aktivnoj kontroli tehnološkog procesa. Ova se izvodi u toku odvijanja procesa i tako otkriva djelovanje sistematskih faktora. Metoda se, ukratko, sastoji u ovome: nacrta se dijagram, u kojemu se na ordinatu nanese veličina postignute mjere, a na apscisu se redom nanesu kontrolirani uzorci ④.



④ Kontrolna karta

U dijagram se ucrtaju granice dopuštenog odstupanja za dotičnu seriju izradaka. Kad započne obrada, uzimaju se u određenim vremenskim razmacima uzorci izrađenih dijelova, izmjeri se postignuta mjera pa se unese u dijagram. Promatrajući nekoliko uzastopce izmjerenih uzoraka, konstatirat ćemo da postoje kolebanja postignutih mjera. No ako na većem broju uzoraka konstatiramo tendenciju promjene dimenzije u jednom smjeru (npr. povećanje mjere kako je prikazano na ④), možemo tvrditi da je to rezultat djelovanja sistematskog faktora. Onog momenta kad konstatiramo da postoji opasnost da postignute mjere padnu izvan dopuštenih granica, zaustavljamo proces i preudešavamo stroj. Na taj način sprečavamo pojavu škarta.

U praksi se, pri primjeni aktivne kontrole, ne unose u dijagram mjere pojedinih izrađenih dijelova, nego se unose aritmetičke sredine dimenzija nekoliko izrađenih dijelova. Na taj način su kolebanja mnogo manja i bolje se uočava tendencija kretanja postignutih mjera.

27.03 DODACI ZA OBRADU

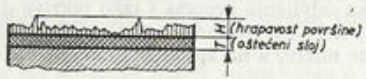
27.031 Pojam dodatka za obradu

Količina sirova materijala iz kojega izrađujemo neki izradak redovito je veća od težine gotova izratka. Tu razliku u količini materijala između sirova materijala i gotova izratka nazivamo dodatkom za obradu.

Ispravno određivanje dodatka za obradu ima veliko značenje za proizvodnju. Preveliki dodaci za obradu povećavaju troškove proizvodnje, zbog veće količine utrošenog materijala nego što je potrebno i napose zbog većeg vremena obrade što ga izaziva uklanjanje suvišnog materijala. Premali dodaci za obradu izazivaju također povećane troškove proizvodnje jer zahtijevaju povećanu pažnju pri centriranju i stezanju materijala. Osim toga, premali dodaci često su i uzrok pojave škarta pa to također povećava troškove proizvodnje.

U praksi ćemo mnogo češće susresti prevelike dodatke za obradu nego premalene. Ako su dodaci za obradu premali, to se vrlo brzo otkriva jer se pojavljuje škart ili nas radnik upozorava da troši mnogo vremena na centriranje. Preveliki dodaci za obradu pak nikome ne stvaraju u proizvodnji većih teškoća pa ih je zbog toga teže otkriti.

Dodatak za obradu mora biti dovoljno velik, da se obradom mogu ukloniti sve greške sirova materijala. To su redovito hrapavost površine i sloj oštećenog materijala neposredno uz površinu ①.



① Minimalni dodatak za obradu

Osim toga kod sirovog materijala obično se javljaju ove greške:

1 — greška geometrijskog oblika u uzdužnom presjeku

2 — greška geometrijskog oblika u poprečnom presjeku

3 — savijenost materijala

4 — greška stezanja u napravi

5 — greška dimenzije materijala (dopušteno odstupanje).

Sve te greške treba uzeti u obzir pri određivanju veličine dodatka za obradu.

27.032 Dodatak za operaciju

Prilikom projektiranja tehnološkog procesa tehnolog mora definirati svaku pojedinu operaciju pa u tom okviru mora odrediti i dodatak za obradu za dotičnu operaciju. Pri tom se djelomično obrađeni dio (u stanju u kojem dolazi na dotičnu operaciju) tretira kao sirov materijal ili kao pripremak. Tako će, na primjer, za operaciju grubog tokarenja neke osovine pripremak biti valjana šipka, dok će za operaciju brušenja te iste osovine pripremak biti fino tokarena osovina.

Pri određivanju dodataka za obradu za pojedinu operaciju moramo osigurati da oni budu u skladu s ekonomičnom točnošću obrade i da omogućavaju postizavanje tražene točnosti na dotičnoj operaciji.

27.033 Ukupni dodatak za obradu

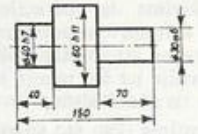
Tehnološki proces sastoji se od niza operacija. Za svaku od njih određuje se dodatak za obradu. Ukupni dodatak za obradu nekog dijela dobiva se sumiranjem dodataka za pojedine operacije. U praksi se problem obično rješava obrnutim redoslijedom. U zavisnosti od zahtjeva definiranih na crtežu, te zavisno od odabranog oblika pripremka i od općih uvjeta proizvodnje određuje se prvo ukupni dodatak za obradu, a nakon toga se on dijeli na pojedine operacije predviđene tehnološkim procesom.

27.04 ISKORISTIVOST MATERIJALA

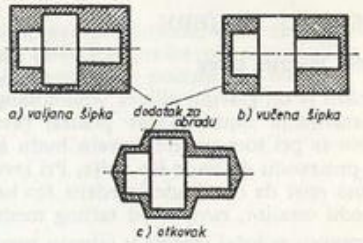
27.041 Izbor oblika pripremka

Ispravno odabrani dodaci za obradu nisu uvijek garancija da je materijal najpovoljnije iskorišten. Osim o ispravnosti odabranih dodataka za obradu iskorištenje materijala ovisi još i o tome kako je odabran oblik pripremka (sirova oblika materijala). Pokažimo to na jednom primjeru!

Treba izraditi stepenastu osovinu prema ①. Pripremak može biti valjana šipka, vučena šipka ili otkovak. Oblici pripremka i dodaci za obradu prikazani su na ②. Jasno se vidi da je količina materijala koju treba u toku obrade skinuti u sva tri spomenuta slučaja različita. Najpovoljniji oblik pripremka s obzirom na iskorištenje materijala je otkovak (slika c). No za odluku o izboru oblika pripremka to nije dovoljno. Kovani pripremak zahtijeva odgovarajuću opremu i



① Stepenasta osovina



② Ukupni dodaci za obradu stepenaste osovine

prilično skup alat (ukovanj). Da bi se ti troškovi amortizirali, potrebne su dovoljno velike količine proizvoda (veće serije). Prema tome, konačna odluka zavisi i od veličine serija.

27.042 Iskoristivost materijala

Stavimo li u odnos količinu materijala nakon završetka tehnološkog procesa i količinu materijala na početku tog procesa, dobivamo uvid u iskorištenje materijala. Dobivenu vrijednost nazivamo iskoristivost materijala.

Tehnološki proces dijelimo u dva dijela. Prvi, pripremni dio procesa služi za dobivanje pripremka, a drugi za njegovu mehaničku obradu u gotov izradak. Prema tome, imamo tri karakteristične težine:

G_k = kalkulativna težina, koja obuhvaća ukupnu količinu materijala potrebnu za izradu nekog dijela (računajući i sve otpatke materijala u pripremnom procesu)

G_o = sirova težina; to je zapravo težina pripremka koji dolazi na prvu operaciju mehaničke obrade

$G_č$ = konstruktivna težina, u stvari gotova izratka.

S te tri veličine možemo izračunati tri različite iskoristivosti materijala, i to:

1 — iskoristivost sirova materijala:

$$\eta_{io} = \frac{G_i}{G_o}$$

pokazuje iskoristivost pripremka u procesu mehaničke obrade;

2 — iskoristivost materijala u pripremnom procesu:

$$\eta_{ip} = \frac{G_o}{G_k}$$

pokazuje kvalitetu pripremnog procesa;

3 — ukupna iskoristivot materijala:

$$\eta_{ik} = \frac{G_i}{G_k}$$

pokazuje ukupno iskorištenje materijala.

Određivanje ukupne iskoristivosti materijala omogućit će nam da ustanovimo da li je tehnološki proces u cjelini dobro riješen, a određivanje ostalih navedenih iskoristivosti materijala pokazat će koji dio procesa je eventualno loše projektiran.

27.05 BAZE I MJERE

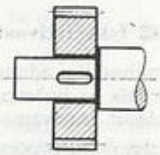
27.051 Pojam baze

Jedan je od glavnih ciljeva tehnološkog procesa da osigurava izradak koji će pri procesu sastavljanja zauzeti takav položaj prema drugim dijelovima da operacije sastavljanja koje se pri tom upotrebljavaju budu što jednostavnije, a funkcioniranje dotičnog dijela u proizvodu da bude što bolje. Pri izvođenju svake pojedine tehnološke operacije nastojimo opet da ona bude izvedena što brže i što jednostavnije uz što manje troškove, što, među ostalim, zavisi i od tačnog međusobnog položaja izratka i alata.

Ispravan položaj izratka u odnosu prema drugim elementima (kao što su stroj i alat pri obradi, odnosno drugi dijelovi proizvoda pri njegovu sastavljanju) ima veliko značenje. Točnost tog položaja zavisi od točnosti onih površina izratka koje se nalaze u kontaktu s površinama susjednih elemenata. Te površine nazivamo baze.

27.052 Konstruktivne baze

Konstruktivnim bazama smatramo one površine koje određuju položaj izratka u odnosu prema ostalim dijelovima ugrađenim zajedno s njime u neki proizvod. Za točan međusobni položaj zupčanika i osovine ① na zupčaniku važne su: unutarnja cilindrična površina (provrt), bočna površina, koja se oslanja na oslonac osovine, i jedna bočna površina klinastog utora (na slici je označena debelim crtama). Te površine potpuno definiraju položaj zupčanika u odnosu prema osovini pa su to, dakle, konstruktivne baze tog zupčanika.



① Konstruktivne baze zupčanika

27.053 Tehnološke baze

Tačan položaj izratka prema stroju i alatu za vrijeme obrade zavisi od onih površina izratka na koje se on oslanja u napravi. Te površine nazivamo tehnološkim bazama. Za razliku od konstruktivnih baza, koje su trajnog karaktera, tehnološke baze su privremenog karaktera (služe samo za vrijeme obrade) pa se mogu čak i mijenjati u toku procesa. U tom slučaju govorimo o promjeni tehnološke baze jer ne upotrebljavamo iste baze za izvođenje svih operacija. Od ispravnosti izbora tehnoloških baza u velikoj mjeri zavisi točnost izrade.

27.054 Kontrolne baze

Prilikom pregleda izrađenih dijelova kontrolu mjera redovito provodimo od baznih površina (konstruktivnih ili tehnoloških). No u nekim slučajevima to neće biti moguće pa tada moramo odabrati posebnu kontrolnu bazu od koje ćemo obavljati mjerenje. Ta promjena baze donosi sa sobom grešku, koju moramo uzeti u obzir pri određivanju dopuštenih odstupanja.

27.055 Izbor baza

Konstruktivne baze definirane su crtežom i na njihov izbor ima tehnolog malo utjecaja.

No on mora iz sastavnog crteža zaključiti koje su površine konstruktivne baze i to iz ovih razloga:

1 — površinama koje služe kao baze treba obratiti posebnu pažnju pri obradi; one moraju biti kvalitetno obrađene s malim dopuštenim odstupanjima dimenzija i njihov međusobni položaj mora biti točan;

2 — od tih površina treba nanositi mjere na crtežu (pa u tom smislu treba izvršiti kontrolu);

3 — treba nastojati da se za tehnološke baze biraju one površine koje su istodobno i konstruktivne baze jer to smanjuje broj površina kojima treba obratiti posebnu pažnju pa to snižava proizvodne troškove.

Promjenu tehnološke baze u toku procesa treba izbjegavati (odnosno, valja nastojati da se ona što manje mijenja) jer svaka promjena baze povećava greške pri obradi. Također treba izbjegavati definiranje posebnih kontrolnih baza jer to poskupljuje izradu.

27.06 OPERACIJA

27.061 Pojam operacije

Dio tehnološkog procesa koji se obavlja na jednom radnom mjestu, neprekidno na cijeloj seriji dijelova, zove se operacija. To je ujedno osnovna jednica tehnološkog procesa. Najlakše ćemo ustanoviti koji poslovi spadaju pod jednu operaciju po tome što se ti poslovi moraju obaviti jednim pripremanjem.

Operacija služi i kao osnovna jedinica pri planiranju proizvodnje. Za svaku pojedinu operaciju:

— izdaju se svi radni dokumenti
— određuju se vremena izrade
— razrađuju se terminski planovi.

Na temelju podataka za pojedine operacije izračunava se opterećenje kapaciteta i prati izvršenje planova.

Operacija se dalje dijeli na manje dijelove. To su:
— upijanje (stezanje)
— položaj
— zahvat
— prolaz.

Ta podjela na manje dijelove operacije neće se uvijek moći provesti pa će nekad operacija biti identična sa zahvatom.

Prilikom definiranja operacije u projektiranom tehnološkom procesu mora za nju biti određeno:
— opis poslova koji se moraju obaviti
— radno mjesto na kojem će se operacija obaviti
— režimi rada
— vrijeme izrade
— pomagala koja će se upotrijebiti pri izvođenju operacije.

27.062 Radno mjesto

Radna mjesta na kojima se obavljaju operacije možemo, prema nekim zajedničkim karakteristikama, svrstati u tri osnovne grupacije. To su:

1 — strojna radna mjesta, kad se operacija obavlja na nekom stroju
2 — ručna radna mjesta, kad se obrada izvodi ručno
3 — ostala radna mjesta, kad se obrada izvodi na bilo koji drugi način (galvanske obrade, termičke obrade, starenje itd.).

Najvažniju grupaciju čine strojna radna mjesta jer se najveći broj operacija obavlja na njima.

Određivanje ukupne iskoristivosti materijala omogućit će nam da ustanovimo da li je tehnološki proces u cjelini dobro riješen, a određivanje ostalih navedenih iskoristivosti materijala pokazat će koji dio procesa je eventualno loše projektiran.

27.05 BAZE I MJERE

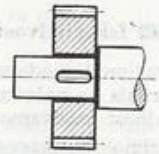
27.051 Pojam baze

Jedan je od glavnih ciljeva tehnološkog procesa da osigurava izradak koji će pri procesu sastavljanja zauzeti takav položaj prema drugim dijelovima da operacije sastavljanja koje se pri tom upotrebljavaju budu što jednostavnije, a funkcioniranje dotičnog dijela u proizvodu da bude što bolje. Pri izvođenju svake pojedine tehnološke operacije nastojimo opet da ona bude izvedena što brže i što jednostavnije uz što manje troškove, što, među ostalim, zavisi i od tačnog međusobnog položaja izratka i alata.

Ispravan položaj izratka u odnosu prema drugim elementima (kao što su stroj i alat pri obradi, odnosno drugi dijelovi proizvoda pri njegovu sastavljanju) ima veliko značenje. Točnost tog položaja zavisi od točnosti onih površina izratka koje se nalaze u kontaktu s površinama susjednih elemenata. Te površine nazivamo baze.

27.052 Konstruktivne baze

Konstruktivnim bazama smatramo one površine koje određuju položaj izratka u odnosu prema ostalim dijelovima ugrađenim zajedno s njime u neki proizvod. Za točan međusobni položaj zupčanika i osovine ① na zupčaniku važne su: unutarnja cilindrična površina (provrt), bočna površina, koja se oslanja na oslonac osovine, i jedna bočna površina klinastog utora (na slici je označena debelim crtama). Te površine potpuno definiraju položaj zupčanika u odnosu prema osovini pa su to, dakle, konstruktivne baze tog zupčanika.



① Konstruktivne baze zupčanika

27.053 Tehnološke baze

Tačan položaj izratka prema stroju i alatu za vrijeme obrade zavisi od onih površina izratka na koje se on oslanja u napravi. Te površine nazivamo tehnološkim bazama. Za razliku od konstruktivnih baza, koje su trajnog karaktera, tehnološke baze su privremenog karaktera (služe samo za vrijeme obrade) pa se mogu čak i mijenjati u toku procesa. U tom slučaju govorimo o promjeni tehnološke baze jer ne upotrebljavamo iste baze za izvođenje svih operacija. Od ispravnosti izbora tehnoloških baza u velikoj mjeri zavisi točnost izrade.

27.054 Kontrolne baze

Prilikom pregleda izrađenih dijelova kontrolu mjera redovito provodimo od baznih površina (konstruktivnih ili tehnoloških). No u nekim slučajevima to neće biti moguće pa tada moramo odabrati posebnu kontrolnu bazu od koje ćemo obavljati mjerenje. Ta promjena baze donosi sa sobom grešku, koju moramo uzeti u obzir pri određivanju dopuštenih odstupanja.

27.055 Izbor baza

Konstruktivne baze definirane su crtežom i na njihov izbor ima tehnolog malo utjecaja.

No on mora iz sastavnog crteža zaključiti koje su površine konstruktivne baze i to iz ovih razloga:

1 — površinama koje služe kao baze treba obratiti posebnu pažnju pri obradi; one moraju biti kvalitetno obrađene s malim dopuštenim odstupanjima dimenzija i njihov međusobni položaj mora biti točan;

2 — od tih površina treba nanositi mjere na crtežu (pa u tom smislu treba izvršiti kontrolu);

3 — treba nastojati da se za tehnološke baze biraju one površine koje su istodobno i konstruktivne baze jer to smanjuje broj površina kojima treba obratiti posebnu pažnju pa to snižava proizvodne troškove.

Promjenu tehnološke baze u toku procesa treba izbjegavati (odnosno, valja nastojati da se ona što manje mijenja) jer svaka promjena baze povećava greške pri obradi. Također treba izbjegavati definiranje posebnih kontrolnih baza jer to poskupljuje izradu.

27.06 OPERACIJA

27.061 Pojam operacije

Dio tehnološkog procesa koji se obavlja na jednom radnom mjestu, neprekidno na cijeloj seriji dijelova, zove se operacija. To je ujedno osnovna jednica tehnološkog procesa. Najlakše ćemo ustanoviti koji poslovi spadaju pod jednu operaciju po tome što se ti poslovi moraju obaviti jednim pripremanjem.

Operacija služi i kao osnovna jedinica pri planiranju proizvodnje. Za svaku pojedinu operaciju:

- izdaju se svi radni dokumenti
- određuju se vremena izrade
- razrađuju se terminski planovi.

Na temelju podataka za pojedine operacije izračunava se opterećenje kapaciteta i prati izvršenje planova.

Operacija se dalje dijeli na manje dijelove. To su:

- upijanje (stezanje)
- položaj
- zahvat
- prolaz.

Ta podjela na manje dijelove operacije neće se uvijek moći provesti pa će nekad operacija biti identična sa zahvatom.

Prilikom definiranja operacije u projektiranom tehnološkom procesu mora za nju biti određeno:

- opis poslova koji se moraju obaviti
- radno mjesto na kojem će se operacija obaviti
- režimi rada
- vrijeme izrade
- pomagala koja će se upotrijebiti pri izvođenju operacije.

27.062 Radno mjesto

Radna mjesta na kojima se obavljaju operacije možemo, prema nekim zajedničkim karakteristikama, svrstati u tri osnovne grupacije. To su:

1 — strojna radna mjesta, kad se operacija obavlja na nekom stroju

2 — ručna radna mjesta, kad se obrada izvodi ručno

3 — ostala radna mjesta, kad se obrada izvodi na bilo koji drugi način (galvanske obrade, termičke obrade, starenje itd.).

Najvažniju grupaciju čine strojna radna mjesta jer se najveći broj operacija obavlja na njima.

27.063 Režimi rada

Pod pojmom režim rada mislimo na uvjete u kojima se operacija obavlja. Pri obradi skidanjem strugotine to će biti brzina rezanja, posmik i dubina reza; pri termičkoj obradi temperatura i brzina zagrijavanja te temperatura i brzina hladenja; pri galvanskoj obradi jakost struje, napon itd.

Režim rada je važan faktor pri obradi. Tehnolog mora obratiti veliku pažnju određivanju ispravnih režima rada jer od toga zavisi kvaliteta projektiranog tehnološkog procesa, u prvom redu ekonomičnost i proizvodnost rada.

27.064 Vrijeme izrade

Proizvodnost rada mjeri se vremenom koje se troši za izvođenje neke operacije, odnosno za izradu proizvoda. I ekonomičnost rada također u velikoj mjeri zavisi od vremena koje se za to troši. Ono, osim toga, služi i kao podloga za realno određivanje zadatka radniku, za planiranje, za praćenje izvršenja planova, za pretkalkulaciju i naknadnu kalkulaciju itd.

Pri svakoj operaciji razlikujemo u biti dva vremena:

1 — pripremno-završno vrijeme (T_{pz}), koje obuhvaća sve one poslove koji se pri izvođenju operacije jedanput obavljaju i koje ne zavisi od količine proizvoda (veličine serije); ovamo spada proučavanje dokumentacije za rad, pripremanje radnog mjesta, raspremanje radnog mjesta nakon završenog posla i sl.;

2 — komadno vrijeme (t_{kom}), koje obuhvaća sve poslove vezane uz direktnu izradu pojedinog komada i koje se ponavlja toliko puta koliko ima dijelova u seriji.

Određivanje vremena izrade za neku operaciju zadatak je tehnologa. Na temelju propisanih poslova za dotičnu operaciju, definiranih režima rada, predviđenog radnog mjesta i pomagala te poznavajući vrijeme trajanja pojedinog posla (iz priručnih tabela, dijagrama itd.), tehnolog će najbolje odrediti vrijeme potrebno za izvođenje operacije.

27.065 Pomagala

Osim radnog mjesta radniku su za izvođenje operacije potrebna još neka pomagala. Svrstali smo ih u ove četiri skupine:

1 — alati
2 — naprave
3 — pribori
4 — mjerni instrumenti.

Alat je pomagalo koje direktno sudjeluje u procesu kao sredstvo za obradu i koje mijenja svojstva izratka (oblik, dimenziju itd.). Pri obradi skidanjem strugotine to će biti glodalo, svrdlo, nož i sl.; pri obradi deformacijom to je ukovanj itd.

Naprava služi za postavljanje izratka u ispravan položaj prema stroju i alatu. To može biti univerzalna naprava, kao što je škripac, stezna glava i sl., a može to biti i neka specijalno konstruirana i izrađena naprava samo za određeni izradak i operaciju.

Pribor je u stvari dodatak alatnom stroju i služi za proširenje njegovih mogućnosti obrade. Ovamo spadaju diobeni aparati, vertikalne glave i slični uređaji kod glodalica, uređaj za kopiranje kod tokarilice itd.

Mjerni instrumenti služe za provjeru rezultata postignutog pri obradi (pomično mjerilo, mikrometar, aparat za kontrolu tvrdoće itd.). Upotrebljavaju ih i radnici pri izvođenju operacije i kontrolori pri provjeri postignutih rezultata.

27.07 TEHNOLOŠKI I PROIZVODNI PROCES

27.071 Vrsta događaja

U okviru svake ljudske djelatnosti, pa tako i u okviru proizvodnje, javljaju se različiti događaji. Iako tih događaja ima obično veoma velik broj, ipak među njima postoje stanovite sličnosti pa ih određenom sistematizacijom možemo svrstati u svega pet grupacija.

1 — **Operacija.** Svaki događaj pri kojem se zbiva neka promjena na izratku nazivamo operacijom. Ta promjena može se odnositi na dimenzije, na geometrijski oblik, na tvrdoću, kvalitetu površine ili na bilo što drugo što želimo obradom postići.

2 — **Transport.** Prenošenje izratka s jednog mjesta na drugo, bez obzira na sredstvo i na način prenošenja, smatramo transportom.

3 — **Kontrola.** To je svaki posao koji se obavlja u svrhu provjeravanja izratka.

4 — **Zastoj.** Ako izradak u toku procesa negdje zastane a da se s njime ništa ne dešava, niti se on uskladištava, znači da je nastao zastoj.

5 — **Skladištenje.** Obavlja se na mjestima namijenjenim za tu svrhu, a predviđeno je da izradak tu provede određeno vrijeme prije nego što će krenuti na daljnju obradu ili na upotrebu.

Pomoću spomenutih pet vrsta događaja može se prikazati svaki proizvodni proces. Primjer takvog prikaza dan je na ①.

27.072 Tehnološki proces

Svrha je tehnološkog procesa da se iz sirova materijala (pripremka) dobije izradak koji u svakom pogledu zadovoljava zahtjevima definiranim na crtežu. Jedini događaji (prema prethodnoj klasifikaciji) koji mijenjaju svojstva izratka jesu operacije. Prema tome, tehnološki proces će obuhvatiti samo te događaje (operacije) svrstane u određeni redosljed.

27.073 Proizvodni proces

To je širi pojam od tehnološkog procesa i obuhvaća sve vrste događaja koji se pojavljuju. Tehnološki proces samo je dio procesa proizvodnje i njegova okosnica. Prema tome, proizvodni proces se projektira pošto je projektiranje tehnološkog procesa završeno. I ovdje se događaji svrstavaju određenim redoslijedom i za svaki od njih unaprijed je predviđeno kad će nastupiti. Izuzetak su oni zastoji koje nije uvijek moguće unaprijed predvidjeti.

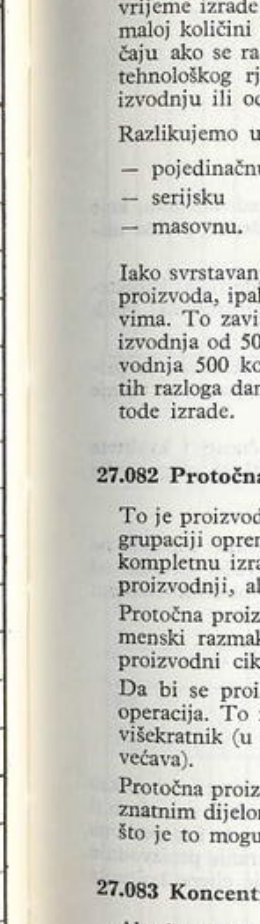
27.074 Automatizirana proizvodnja

Strogo izdvajanje tehnološkog procesa iz cjelokupnog procesa proizvodnje nije uvijek moguće. Uvođenjem pojedinih automatiziranih strojeva u proizvodnju često se u tim operacijama obavlja istodobno i kontrola izradaka, i to tako povezana sa samom operacijom da ju je nemoguće odvojiti kao zaseban događaj. Povezivanjem takvih strojeva u liniju, gdje je transport izradaka od operacije do operacije također automatiziran, još više se smanjuju razlike između tehnološkog i proizvodnog procesa. Dodamo li tome da u takvim slučajevima obično nema zastoja ni skladištenja u toku proizvodnje, proizlazi zaključak da se u automatiziranoj proizvodnji tehnološki i proizvodni proces poistovećuju.

ANALIZA PROCESA

PROIZVOD : Podložnica		BROJ CRTEŽA: Q235	GOD. KOLIČINA: 800	LIST: 1
MATERIJAL Č.0345	GLAV. DIM. ⌀ 40 / 15 x 3	TEŽINA 1 KOM. 0,025 kg	JED. MJERE: kom	SLIJEDI
DATUM : 20. X 1968.	SNIMIO: Petrić	DATUM	ANALIZIRAO	

Redni broj	ODJELJENJE	RADNO MJESTO	NAZIV DOGAĐAJA	TRAJANJE	PRIMJEDBA
1	Sklad. čelika		Skladište materijala	10 dana	
2	Sklad. čelika		Transport do pile		
3	Sklad. čelika		Rezanje materijala		Rezanje šipke na odgovarajuće dužine za revolver (po potrebi)
4	Sklad. čelika		Čekanje	1 dan	
5			Transport u prip. skladište		
6	Pripr. sklad. materij.		Skladištenje	10 dana	
7			Transport u rev. tok		
8	Revolv. tokar.		Obrada na revolv.		
9	Revolv. tokar.		Čekanje	do 1 dan	
10			Transport u kontrolu		
11	Kontr. tokar.		Čekanje	do 2 dana	
12	Kontr. tokar.		Kontr. operacije		
13	Kontr. tokar.		Čekanje	do 4 sata	
14			Transport u međufazno skladište		
15	Međufazno sklad.		Čekanje u skladište	do 3 dana	
16			Transport u glavno skladište		
17	Glavno sklad.		Skladištenje		
0					



① Karta analize proizvodnog procesa

27.08 PRINCIPI PROJEKTIRANJA TEHNOLOŠKOG PROCESA

27.081 Tipovi proizvodnje

Želimo li ocijeniti nivo proizvodnosti i ekonomičnosti nekog tehnološkog procesa, nije nam dovoljno da poznajemo samo vrijeme izrade, odnosno troškove proizvodnje. Isto vrijeme izrade može jednom značiti vrlo visok nivo tehnološkog rješenja (ako se radi o maloj količini proizvoda), a drugi put može upozoravati na veoma loše rješenje (u slučaju ako se radi o velikoj količini istovrsnih proizvoda). Prema tome, ocjena kvalitete tehnološkog rješenja zavisi i od količine istovrsnih proizvoda koji se puštaju u proizvodnju ili od tipa proizvodnje.

Razlikujemo u biti tri tipa proizvodnje:

- pojedinačnu
- serijsku
- masovnu.

Iako svrstavanje proizvodnje u jedan od spomenuta tri tipa zavisi od količine istovrsnih proizvoda, ipak ne možemo reći kod koje količine proizvoda su granice među tim tipovima. To zavisi od veličine i složenosti proizvoda, primijenjene metode rada itd. Proizvodnja od 500 komada vijaka godišnje spada u pojedinačnu proizvodnju, dok bi proizvodnja 500 komada lokomotiva godišnje možda već značila masovnu proizvodnju. Iz tih razloga danas se tip proizvodnje ocjenjuje prvenstveno na temelju primijenjene metode izrade.

27.082 Protočna proizvodnja

To je proizvodnja u kojoj tehnološki proces teče kontinuirano; ona se obavlja na jednoj grupaciji opreme odabranoj za određeni proizvod (ili za skupinu proizvoda) i obuhvaća kompletnu izradu od pripremka do gotova izratka. Najčešće je susrećemo u masovnoj proizvodnji, ali katkad i u velikoserijskoj proizvodnji.

Protočna proizvodnja odvija se točno određenim ritmom, koji se naziva takt. To je vremenski razmak između dva uzastopno izrađena proizvoda. Time se znatno skraćuje proizvodni ciklus i olakšava planiranje i praćenje proizvodnje.

Da bi se proizvodnja odvijala određenim ritmom, treba uskladiti trajanje pojedinih operacija. To mora biti jednako taktu dotične proizvodnje, odnosno njegov cjelobrojni višekratnik (u ovom slučaju se broj radnih mjesta za dotičnu operaciju toliko puta povećava).

Protočna proizvodnja češće se uvodi u montaži, a rjeđe u proizvodnji dijelova. To slijedi znatnim dijelom odatle što je lakše uskladiti trajanje operacija koje se izvode ručno nego što je to moguće kod strojeva.

27.083 Koncentracija i podjela operacija

Ako je tehnološki proces projektiran tako da se izvodi malim brojem složenih operacija, pri čemu se pri svakoj operaciji (ili pri većini njih) obrađuje velik broj površina, govorimo o koncentraciji operacija. Naprotiv, ako je tehnološkim procesom predviđen velik broj relativno jednostavnih operacija, smatramo da je izvršena podjela operacija.

Koncentracija operacija omogućava jednostavniju organizaciju proizvodnje i veći opseg proizvodnje na manjem prostoru. S druge strane zahtijeva skuplju opremu, visokokvalificirane radnike za udešavanje strojeva i za njihovo održavanje.

Dijeljenje operacija omogućava primjenu jednostavnijih strojeva i radnu snagu niže kvalifikacije. Nedostatak mu je znatno produženje proizvodnog ciklusa, a to, osim toga, znatno otežava organizaciju proizvodnje i napose njeno planiranje.

Koncentraciju operacija susrećemo u pojedinačnoj i u maloserijskoj proizvodnji, gdje se ona obavlja univerzalnim strojevima. Povećanje serija dovodi do sve većeg dijeljenja operacija. No nakon neke granice ponovno započinje koncentracija operacija (daljnjim povećanjem serija), ali ovaj put na specijalnim strojevima. Masovna proizvodnja najčešće ima visok stupanj koncentracije operacija.

27.084 Redoslijed obrade

Svrha je tehnološkog procesa:

1 — skidanje viška materijala
2 — postizavanje tražene točnosti
3 — postizavanje tražene kvalitete površine.

Tehnološki proces obuhvaća cijeli niz operacija, svrstanih određenim redoslijedom, koje treba da osiguraju postizavanje spomenutog cilja. Sve te operacije možemo, prema njihovoj osnovnoj namjeni, podijeliti u tri grupacije:

1 — operacije **grube obrade,** kod kojih se skida najveći dio viška materijala; karakteriziraju ih velike sile pri obradi (jer se uklanjaju velike količine materijala), velik utrošak snage, velike netočnosti;

2 — operacije **čiste obrade,** kod kojih se postiže osnovna točnost; uklanjaju se prilično male količine materijala, a sile pri obradi i utrošena snaga znatno su manje od onih pri gruboj obradi:

3 — operacije **fine obrade,** čiji je zadatak postizavanje visokih točnosti i kvalitete površine; količina materijala koji se uklanja, sile pri obradi i utrošena snaga ovdje su minimalni.

Pri projektiranju tehnološkog procesa po pravilu se operacije grube obrade stavljaju na početak, nakon njih dolaze operacije čiste, a na kraju operacije fine obrade. Zavisno od zahtijevanih točnosti i od kvalitete površine, tehnološki proces može obuhvatiti samo operacije grube ili grube i čiste obrade.

27.09 TEHNOLOŠKA DOKUMENTACIJA

Oblici tehnološke dokumentacije zavise od tipa proizvodnje. Ta dokumentacija služi kao osnova za velik dio ostale dokumentacije u poduzeću. Podaci koje ona daje moraju biti točni jer služe kao uputa radniku o tome na koji će način obaviti posao te kao podloga za nabavu materijala i alata, za određivanje potrebnih kapaciteta i planiranje proizvodnje te za praćenje izvršenja planova, za plaćanje radnika i za određivanje cijene koštanja proizvoda.

Navest ćemo najvažnije tehnološke dokumente.

27.091 Operacijski list

To je osnovni tehnološki dokument, koji sadržava sve neophodne podatke i uvjete za izvršenje operacije. Piše se za svaku poziciju zasebno, a njegov oblik ovisi o tipu proizvodnje.

Operacijski list prikazan na ① sadržava sve neophodne podatke koji uvijek moraju biti navedeni u tom dokumentu, a inače služi u pojedinačnoj proizvodnji.

OPERACIJSKI LIST

Naziv		Crtež broj	Materijal				Broj komada		Proces razradio		List broj
Proizvod			Vrsta		Kalkulativna težina		po proizvodu		Datum	Potpis	
Sklop			Sirove dimenzije		Iskorištenost materijala η_k =		u seriji				Slijedi list broj
Pozicija			Sirova težina								

Redni broj operacije	Redni broj zahvata	Šifra operacije	Šifra radnog mjesta	Odjeljenje	Opis rada	Skice	L	D B	Režimi rada a	l	s	n	v	Vrijeme rada T_{pz}	T_t	T_p	T_d	T_{lan}	Kategorija rada	Alat	Naprava	Instrument	Primjedbe

① Operacijski list za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju

Ako se radi o serijskoj proizvodnji, razrada se provodi detaljnije pa se obično upotrebljava operacijski list koji izgleda otprilike kao na ②.

OPERACIJSKI LIST

Proizvod	Sklop	Naziv pozicije	Crtež broj	Komada po proizvodu	Bilješka	List broj	Slijedi list broj
Vrsta materijala	Sirove dimenzije	Sirova težina	Kalkulirana težina			Proces razradio	

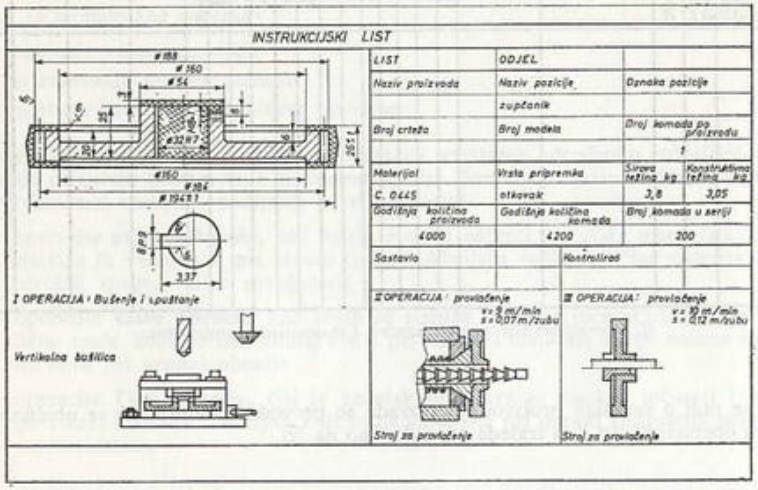
Red. broj operacije	Šifra operacije	Radno mjesto	Odjel	OPIS OPERACIJE	alat	naprava	mjerni instrument	T_{pz}	T_{kom}	Primjedba

② Operacijski list za serijsku proizvodnju

27.092 Instrukcijski list

Ako bilo iz kojeg razloga podaci za neku operaciju navedeni u operacijskom listu nisu dovoljna uputa radniku za njegov rad, razrađuje se još i instrukcijski list, i to za svaku operaciju poseban instrukcijski list. Pri tome se on razrađuje samo za one operacije gdje je to potrebno, a ne za sve operacije izrade nekog dijela.

Primjer instrukcijskog lista naveden je na ③.



③ Instrukcijski list

27.093 Redoslijed operacija

Katkad se u pojedinačnoj proizvodnji ne razrađuje detaljniji tehnološki proces, nego se određuje samo redoslijed operacija. Pri tom se redovito za svaku pojedinu operaciju definira radno mjesto i vrijeme izrade, a katkad još i specijalan alat i naprava.

Redoslijed operacija nekad se razrađuje i za serijsku proizvodnju, a svaka operacija se pri tome razrađuje još detaljno na posebnom dokumentu.

27.094 Pregled alata

Razrađuje se u serijskoj proizvodnji. Iz propisanog tehnološkog procesa uzimaju se podaci o propisanom alatu i za svaku pojedinu operaciju ispisuju u zasebnom fomularu. Taj dokument služi kao podloga pri planiranju alata za potrebe proizvodnje, kao i pri organizaciji dostave alata radniku na radno mjesto.

27.095 Narudžba alata i naprave

Pri razradi tehnološkog procesa tehnolog je često prisiljen da predvidi specijalan alat, napravu ili mjerku. Ta se odluka mora uvijek pažljivo razmotriti jer je izrada specijalnih pomagala skupa. Ako je specijalno pomagalo predviđeno, tehnolog će ispisati narudžbu za njegovo konstruiranje i izradu.

Ta narudžba mora obvezatno sadržavati:

- idejno rješenje pomagala
- broj (oznaku) koji će pomagalo imati
- rok dovršenja konstrukcije
- rok izrade pomagala
- podatke o poziciji za koju služi.

27.096 Karta kontrole

Upotrebljava se uglavnom u serijskoj proizvodnji. Sadržava upute za kontroliranje operacije te pregled pomagala kojima će se kontrola obaviti. Katkad sadržava i vrijeme za koje se kontrola mora izvršiti.

27.097 Karta transporta

Izdaje se za svaku transportnu operaciju, ako je to predviđeno rješenjem organizacije transporta. Najčešće se susreće u serijskoj proizvodnji. Karta mora sadržavati:

- opis transporta
- način transporta
- sredstvo kojim će se transport obaviti
- potreban broj ljudi
- vrijeme transporta.

27.098 Prijedlog za izmjenu i obavijest o izmjeni

Često će pri izradi tehnološkog procesa tehnolog konstatirati da je potrebno izvršiti neku izmjenu u konstrukciji izratka. On će u tom slučaju ispisati prijedlog za izmjenu crteža i u njemu će naznačiti što bi trebalo izmijeniti. Taj prijedlog dostavlja se u konstrukcijskom uredu. Konstruktor ga razmatra pa ako je izvršio rekonstrukciju, šalje obavijest o izmjeni i u njoj označava što je na crtežu izmijenjeno.

Prijedlog za izmjenu crteža može doći i s drugih mjesta u tvornici, npr. od kontrole, proizvodnje itd.

27.10 POMAGALA U RADU TEHNOLOGA

Da bi tehnolog mogao razraditi tehnološki proces brzo i kvalitetno, potrebne su mu određene podloge. One ujedno služe i za ujednačavanje kriterija pri izradi tehnoloških procesa sličnih dijelova. Spomenut ćemo najvažnija pomagala.

27.101 Uzorni procesi

U proizvodnji ćemo često sresti dijelove čiji su tehnološki procesi slični, u osnovi istog redoslijeda operacija i sličnosti izvođenja pojedinih operacija. Za takve dijelove vrlo je korisno razraditi uzoran tehnološki proces. On mora biti razrađen veoma pažljivo i provjeren u proizvodnji. Tako razrađen i provjeren uzorni proces ubrzava kasniji rad tehnologa i osigurava bolju kvalitetu razrade tehnoloških procesa za konkretne dijelove.

27.102 Podaci o režimima rada

Tehnološko vrijeme ili čisto vrijeme obrade određuje se na temelju propisanih režima rada. Tehnolog ne smije režime rada određivati »po iskustvu«, nego mora imati vjerodostojne podatke za pojedine slučajeve obrade provjerene u vlastitom pogonu. Ti se podaci redovito sređuju u službi studija vremena pa se u obliku tabela, nomograma i dijagrama daju kao podloga za rad tehnologa.

27.103 Elementi vremena izrade

Pored tehnološkog vremena tehnolog mora odrediti i pripremno-završno, pomoćno i dodatno vrijeme da bi mogao definirati normu. Elemente tih vremena određuje služba studija vremena snimanjem u radionici, a zatim ih u sređenom obliku daje tehnologu kao podloga za njegov rad.

27.104 Kartoteka

Za ispravno odabiranje radnog mjesta na kojemu će se obavljati neka operacija potrebno je imati potpun pregled svih radnih mjesta u radionici s poznavanjem njihovih mogućnosti. U tu svrhu služi kartoteka radnih mjesta. Ona obvezatno sadržava tehničke podatke o radnom mjestu, troškove amortizacije i njegova održavanja te o točnosti koja se može postići.

Da bi tehnolog mogao ispravno odabrati materijal pripremka (kvalitetu, oblik i dimenziju), potrebna mu je kartoteka materijala, iz koje će steći uvid u to koji materijali se normalno nalaze na skladištu poduzeća.

Kartoteka pomagala (alata, naprava, mjernih instrumenata, pribora) omogućit će tehnologu da pri razradi tehnološkog procesa odabere najpovoljnija pomagala između onih koja mu u poduzeću stoje na raspolaganju.

27.105 Plan poduzeća

Da bi tehnolog pri projektiranju procesa mogao pratiti tok materijala, potreban mu je plan poduzeća. U takav plan treba unijeti sva radna mjesta, energetske priključke i transportne putove. To će omogućiti određivanje normalnih tokova materijala i skraćivanje transportnih putova.

27.11 GRUPNA TEHNOLOGIJA

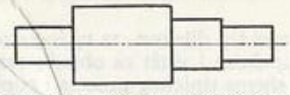
27.111 Ideja tipizacije

Svaki se proizvod sastoji od određenog broja pozicija. Prilikom projektiranja tehnološkog procesa za dotični proizvod potrebno je projektirati proces za izradu svake pojedine pozicije. Kad se radi o maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji, redovito susrećemo u proizvodnji velik broj različitih proizvoda pa je broj pozicija za koje treba projektirati proces veoma velik. Vrijeme koje može tehnolog posvetiti pojedinoj poziciji je, zbog njihova velikog broja, relativno maleno, a to ide na štetu kvalitete projektiranog tehnološkog procesa.

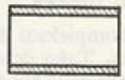
Pri traženju putova za rješenje tog problema došlo se do ideje o tipizaciji dijelova. Uzmemo li slog crteža jednog proizvoda i počnemo li ih pažljivo pregledavati, ustanovit ćemo da između niza pozicija postoje stanovite sličnosti. Grupirajući pozicije tako da se u svakoj pojedinoj grupaciji nađu dijelovi koji imaju zajedničke osnovne tehnološke karakteristike, dolazimo do osnovnih tipova dijelova. Pri tome, rješavajući tehnološki proces za određeni tip dijelova, rješavamo u biti tehnološke probleme svih dijelova dotičnog tipa. Time se znatno poboljšava kvaliteta projektiranih tehnoloških procesa za pojedine pozicije i u tom se sastoji suština ideje tipizacije.

27.112 Tipovi dijelova

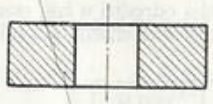
Radi ilustracije osnovne ideje o tipizaciji navest ćemo nekoliko tipova dijelova s njihovim najvažnijim tehnološkim karakteristikama. Zavisno od proizvoda, neke od spomenutih tipova dijelova susrest ćemo u većem a neke u manjem broju. Također će se pojaviti i niz drugih tipova dijelova koji nisu ilustrirani (limovi, vijci, matice, opruge i sl.), ali njihov ukupan broj je ograničen i ne prelazi nikada brojku od tridesetak tipova.



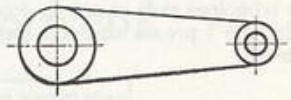
① Osovine — Osnovna karakteristika: koncentrične rotacione površine oko jedne osi rotacije



② Puškice — Osnovna karakteristika: koncentrične vanjske i unutarnje površine sa zahtjevom na točne dimenzije. Primjer: ležajna puškica

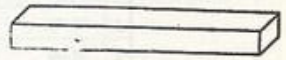


③ Diskovi — Osnovna karakteristika: uski rotacioni dijelovi s velikim bočnim površinama i provrtom. Traži se okomitost bočne površine i osi komada. Primjer: prolazni poklopac kućišta kotrljajućeg ležaja

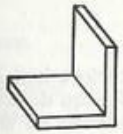


④ Poluge — Osnovna karakteristika: dijelovi sa dva provrta, kod kojih se traži paralelnost i točan razmak osi. Primjer: klipnjača motora s unutrašnjim izgaranjem

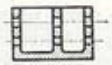
⑤ Ploče — Osnovna karakteristika: pločasti dijelovi kod kojih se traži paralelnost gornje i donje površine. Primjer: suportna ploča tokarilice



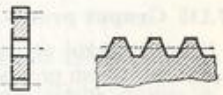
⑥ Pera'— Osnovna karakteristika: vitki prizmatički dijelovi kod kojih se traže paralelne površine. Primjer: uložno pero



⑦ Kutnici — Osnovna karakteristika: dijelovi sastavljeni od dviju (ili više) međusobno okomitih ploča. Primjer: kutnik za stezanje dijelova pri obradi (na glodalici, tokarilici i sl.)



⑧ Kućišta — Osnovna karakteristika: kruti dijelovi s velikim brojem obradivih površina, uglavnom provrta, kod kojih se traže točni međusobni odnosi. Primjer: kućište vreteništa tokarilice



⑨ Zupčanici — Osnovna karakteristika: dijelovi zahtijevaju specijalne obrade zbog specijalne površine bokova zubi. Primjer: svi zupčanici, zubni segmenti, zubne letve i sl.

27.113 Kompleksni dio

Detaljnja razrada tipizacije dijelova u konkretnom poduzeću je opsežan posao. Polazeći od osnovnih grupacija dijelova navedenih u prethodnoj točki, provodimo daljnju podjelu (klasifikaciju) dijelova u sve manje grupacije koje imaju sve veće međusobne tehnološke sličnosti. Tako se postepeno dolazi do osnovne grupacije, koja se naziva tip i za koju se projektira jedinstveni tehnološki proces. Da bi se takav zajednički proces mogao projektirati, potrebno je imati crtež dijela koji predstavlja dotični tip. U praksi se to rješava na taj način da se uzme najsloženiji dio iz dotične grupacije pa mu se dodaju one elementarne površine koje imaju neki drugi dijelovi grupacije, a na njenom odabranom dijelu ne postoje (npr. odabrani dio nema navoj i utor za klin, a ima dijelova u grupaciji koji posjeduju te površine). Tako dobiveni uvjetni dio (crtež dijela) je kompleksni dio dotične grupacije. Na njemu se nalaze sve površine koje ima bilo koji dio grupacije. Tehnološki proces projektiran za kompleksni dio rješava sve tehnološke probleme koji se mogu pojaviti bilo na kojem pojedinačnom dijelu iz te grupacije.

27.114 Tipičan proces

Kad postoji kompleksni dio za neki određeni osnovni tip dijelova, za nj se projektira tehnološki proces. Tako dobiven proces naziva se tipičnim i služi za obradu svih dijelova koji su u taj tip ušli. Na ⑩ prikazana je osnovna shema tipičnog procesa i popis dijelova koji se po tom tipičnom procesu obrađuju. U glavi tabele tipičnog procesa navedene su sve operacije koje on obuhvaća i njihov redoslijed. Za svaki dio čija obrada teče po tom procesu unose se oznake koje operacije obuhvaća konkretan proces za taj dio (u tabeli označeno križićem).

Posao tehnologa sada se znatno pojednostavnjuje. Treba odrediti u koji osnovni tip spada pojedini dio i prema tipičnom procesu ustanoviti koji redoslijed operacija mora proći pri obradi.

KARTA TIPIČNOG TEHNOLOŠKOG PROCESA — Tip 02 35 32

Redni broj	Redoslijed operacija / POZICIJA (konkretni dio)	Odrezati iz šipke	Zaravnati i zabušiti	Tokariti grubo	Tokariti čisto	Glodati utor	Bušiti rupu za navoj	Narezati navoj	Brusiti
1	32 156	+	+	+	+		+	+	
2	32 263	+	+	+	+	+			
3	32 363	+	+	+	+				+
4	32 465	+	+	+	+	+			+
5	32 498	+	+	+	+		+	+	
6	32 631	+	+	+	+				+

⑩ Karta tipičnog tehnološkog procesa

27.115 Grupni proces

U maloserijskoj proizvodnji često je teško pronaći dovoljan broj dijelova koji imaju zajednički tipičan proces u cjelini. Zato je Mitrofanov u Sovjetskom Savezu došao na ideju da grupira dijelove prema sličnosti izvođenja pojedine operacije. Polazeći od te osnovne ideje, on, prema opremi na kojoj se operacije izvode, grupira dijelove:

- na one koji se obrađuju na univerzalnim tokarilicama
- na one koji se obrađuju na revolver-tokarilicama
- na one koji se obrađuju na tokarskim automatima
- na one koji se obrađuju na glodalicama
- na one koji se obrađuju na bušilicama itd.

Svaka od tih grupacija dijelova klasificira se dalje u manje grupacije (prema sličnosti izvođenja operacije), dok se ne dođe do osnovnih skupina pri kojima se dotična operacija izvodi na isti način. Za tu se skupinu dijelova propisuje jedinstven grupni proces.

Pokazalo se da se u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji može pronaći mnogo veći broj dijelova koji imaju zajedničku jednu operaciju nego cijeli tehnološki proces.

27.116 Grupne naprave

U vezi s idejom Mitrofanova o projektiranju grupnih tehnoloških procesa za pojedine operacije pojavile su se i grupne naprave. One ne služe, kao specijalne naprave, samo za jedan određeni dio, nego se mogu upotrebljavati pri obradi niza dijelova. No, za razliku od univerzalnih naprava te naprave mogu se upotrijebiti samo pri obradi onih dijelova za koje vrijedi isti grupni proces.

Primjena grupnih naprava u maloserijskoj proizvodnji znatno podiže kvalitetu projektiranih tehnoloških procesa jer raste opremljenost proizvodnje napravama.

JURDANA Nedjeljko, dipl. inženjer strojarstva

SASTAVLJANJE PROIZVODA

28.1 UVOD 912
28.2 MONTAŽNE JEDINICE 912
28.3 SHEMA SASTAVLJANJA 912
28.4 REDOSLIJED SASTAVLJANJA 914
28.5 PROCES SASTAVLJANJA 914
28.6 VRSTE SPOJNIH POVRŠINA 915
28.7 SPOJEVI PRI SASTAVLJANJU STROJEVA I MEHANIZAMA . . . 916
28.8 LANAC DIMENZIJA 916
28.9 PRIPREMA DIJELOVA ZA SPAJANJE 920

Literatura

1 — *Đurašević A.*: Projektiranje tehnološkog procesa, VTŠ, Zagreb 1960.
2 — *Fedorov B. F.*: Mehanizacija slesarno-sboročnih i montažnih rabot, Mašgiz 1957.
3 — *Nowikow M. P.*: Technologie der Montage von Maschinen, Motoren und Getrieben, VEB Verlag Technik, Berlin 1960.

28 SASTAVLJANJE PROIZVODA

28.1 UVOD

Posljednji, ali vrlo odgovaran posao u proizvodnji svih strojeva i uređaja obavlja odjel montaže.

Čest je slučaj da se tehnološki proces sastavljanja u metalnoj industriji zapostavlja do te mjere da mu se ponekad ne pridaje nikakva važnost. To se opravdava tumačenjem da je rad u montaži mnogo jeftiniji od rada u strojnoj obradi, gdje cijena sata u velikom postotku čini amortizacija skupog strojnog parka, koji montaža obično ne posjeduje. No pri tom se zaboravlja činjenica da se svi proizvedeni kupljeni dijelovi zadržavaju u montaži te da je neobično važno da se baš to vrijeme zadržavanja svede na minimum. Vremenski udio sastavljanja, u odnosu prema ukupnom vremenu izrade proizvoda relativno je velik, a po granama strojarstva u prosjeku iznosi:

— u industriji teških strojeva	35%
— u automobilskoj industriji	23%
— u industriji traktora i poljoprivrednih strojeva	25%
— kod električnih strojeva i aparata	45%
— kod pribora	45%
— u industriji alatnih strojeva	25%.

Unapređivanjem procesa sastavljanja smanjujemo navedene postotke, a ujedno pojeftinjujemo same proizvode.

Tehnolog montaže propisuje pripremu dijelova, sva dotjerivanja, sastavljačke radove i površinsku zaštitu sklopova i proizvoda te način pakovanja.

Odjel montaže je mjesto gdje se sabiru svi uspjesi i greške poslovanja tehnološkog sektora tvornice. Tu se uočavaju propusti u konstrukciji, u tehnologiji izrade dijelova, u organizaciji operative, u nabavi itd. Zbog toga tehnolog montaže mora, prije same razrade procesa sastavljanja, dobro upoznati namjenu svih dijelova, i to pomoću sastavnih crteža. Paralelno s upoznavanjem proizvoda on će izvršiti analizu tehnologičnosti konstrukcije sa stanovišta montaže i pri tom uočiti nedostatke, koje će konstruktor i tehnolog izrade ukloniti. Time će omogućiti da se propiše jednostavniji i jeftiniji proces sastavljanja. Jedino uska suradnja između konstruktora, tehnologa izrade i tehnologa montaže garancija je uspjeha u radu, tj. ostvarenja dobrog i jeftinijeg proizvoda.

U ovome poglavlju opisane su osnove projektiranja tehnološkog procesa sastavljanja proizvoda i neki tipični radovi koji se susreću pri sastavljanju strojeva i uređaja.

28.2 Montažne jedinice

Pod montažnom jedinicom razumijevamo zbroj pojedinačnih dijelova i već sastavljenih skupina dijelova, koji tehnološki (u smislu sastavljanja) čine zaokruženu cjelinu. Montažna jedinica sastavlja se na jednom mjestu i smatra se u montaži jednim zaokruženim poslom.

Element montaže je detalj. On može pri sastavljanju ući direktno u gotov proizvod, a može i posredno preko jedne ili više montažnih jedinica. To, međutim, nema nikakve veze s važnošću dotičnog elementa za dobro funkcioniranje proizvoda.

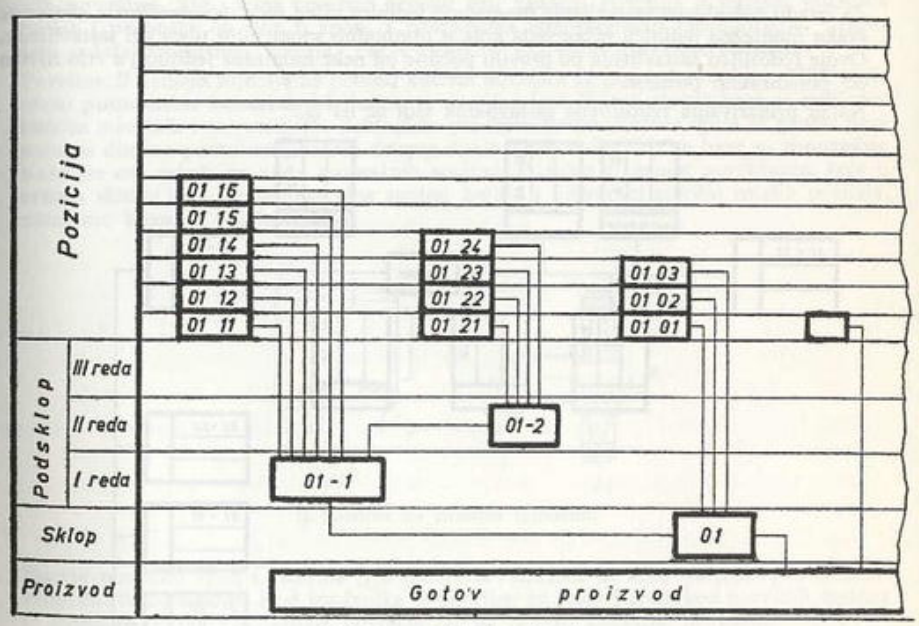
28.3 Shema sastavljanja

Da bismo dobili pregled nad problematikom sastavljanja cijelog proizvoda i da bismo iz toga ocijenili koje poslove sastavljanja moramo obaviti, treba da prvo razradimo shemu sastavljanja.

Pri razradi te sheme polazimo od kompletnog proizvoda. Iz sastavnog crteža uočavamo na koje se manje montažne jedinice može podijeliti proizvod (u smislu sastavljanja to su tehnološki zaokružene cjeline i mogu se sastaviti nezavisno jedna od druge prije konačnog sastavljanja proizvoda). Takvu montažnu jedinicu nazivamo sklop. Uz njih pojavit će se i neki pojedinačni dijelovi koji ulaze direktno u proizvod pri završnom sastavljanju.

Daljnjim razmatranjem pojedinih sklopova na jednaki način ustanovljujemo od kojih su montažnih jedinica oni sastavljeni i svaku od njih nazivamo podsklop 1. reda. Dijeljenjem pak podsklopova 1. reda na još niže montažne jedinice dobivamo podsklopove 2. reda itd. dok ne dođemo do one montažne jedinice koja se sastoji samo od pojedinačnih elemenata.

Uobičajeno je da se shema sastavljanja prikazuje na način kako se to vidi na ①. Shema mora obuhvatiti sve montažne jedinice do onih najnižeg reda na tom proizvodu.



① Shema sastavljanja proizvoda

Ocjena o tome koja je montažna jedinica nižeg, a koja višeg reda ne zavisi od njene veličine, nego samo od njenog mjesta u shemi sastavljanja. Moguće je, dakle, da se, na primjer, kod nekog proizvoda naiđe na sklop koji se sastoji od svega dva ili tri dijela, a da se s druge strane naiđe na podsklop 2. reda koji ima i dvadesetak dijelova.

Ako se radi o velikim proizvodima, koji se sastoje od velikog broja dijelova, bit će nepraktično prikazati shemu sastavljanja cijelog proizvoda na jednom prikazu jer će takva shema biti glomazna. Tada se može prikazati shema sastavljanja za svaki sklop zasebno, a za cijeli proizvod zasebno, obuhvativši u ovome potonjem samo sklopove kao gotove cjeline.

28.4 Redoslijed sastavljanja

Iz sheme sastavljanja ne vidi se kojim redoslijedom treba sastavljanje izvršiti. Stoga se, pošto je razrađena shema, izrađuje još i redoslijed sastavljanja.

Oznaka pozicije 01 - 16	Operacija pri montaži
Naziv pozicije Rastojni prsten	
Montažna jedinica 01 - 1	

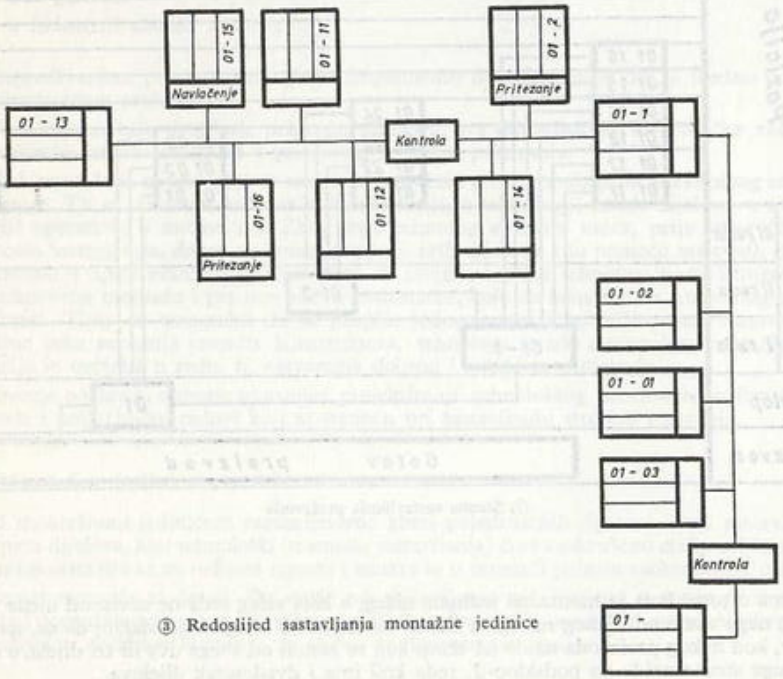
② Kartica pozicije

Kako se najpovoljniji redoslijed sastavljanja često utvrđuje tek nakon nekoliko pokušaja, dobro je pri tom poslu služiti se prikladnim pomagalom. U tu svrhu se za svaku poziciju proizvoda obično izrađuje kartica kako je to pokazano na ②.

Pri samoj razradi uzimamo kartice svih pozicija koje ulaze u dotičnu montažnu jedinicu. Kad smo nakon nekoliko pokušaja da sklopimo redoslijed sastavljanja utvrdili najpovoljniji, nacrtamo ga na posebnom prikazu. Redoslijed počinje od one pozicije koja se uzima prva (i naziva se osnovom) pa se dalje dodaju pozicije onim redom kojim teče samo sastavljanje, dok ne dobijemo montažnu jedinicu.

Za izradu redoslijeda sastavljanja montažnih jedinica višeg reda moramo imati kartice za svaku montažnu jedinicu nižeg reda koja u prethodno spomenutu ulazi pri sastavljanju. Ovdje redoslijed sastavljanja po pravilu počinje od neke montažne jedinice, a vrlo rijetko od pojedinačne pozicije.

Način prikazivanja redoslijeda sastavljanja vidi se na ③.



③ Redoslijed sastavljanja montažne jedinice

28.5 Proces sastavljanja

Pošto su izrađeni shema i redoslijed sastavljanja, potrebno je razraditi proces sastavljanja. Kao što nam je shema sastavljanja poslužila kao podloga za razradu redoslijeda (jer su iz nje vidljive montaže jednice i njihovo mjesto u proizvodu), tako je redoslijed sastavljanja podloga za razradu procesa.

Tehnološki proces sastavljanja mora obuhvatiti u biti sve isto što i tehnološki proces izrade dijelova, a to je:

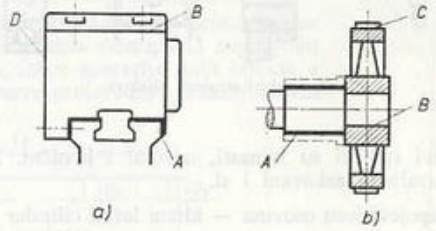
1 — popis i opis poslova koje treba obaviti
2 — radna mjesta na kojima se pojedini poslovi obavljaju
3 — potrebno vrijeme za obavljanje pojedinog posla
4 — pomagala koja će se u radu upotrijebiti.

28.6 Vrste spojnih površina

Pri analizi sličnosti spojeva montažnih jedinica grupacije se mogu izvršiti prema spojnim pozicijama koje imaju karakteristične spojne površine kao što su: spojevi s cilindričnim, koničnim ili navojnim površinama.

Svaki element koji se ugrađuje u neku montažnu jedinicu sastoji se od **spojnih i slobodnih površina.** Sve spojne površine nemaju istu zadaću. Površina *A* kućišta mjenjača brzina i pogonske osovine u spoju s površinama odgovarajućih protupozicija, definiraju položaj navedenih pozicija. Takve površine nazivamo **glavnim bazama.**

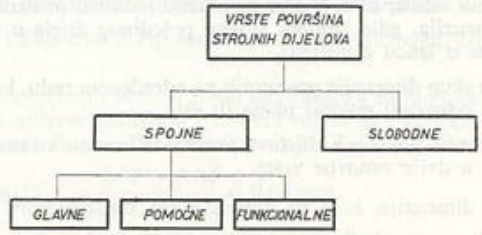
Površine *B* nemaju utjecaja na položaj kućišta mjenjača ni pogonske osovine. Njih nazivamo **pomoćnim bazama.** Međutim, te iste površine *B* jesu glavne baze za poklopac kućišta mjenjača i za remenicu. Zaključak: pri sastavljanju dijelova spaja se glavna baza jednoga dijela s pomoćnom bazom drugog dijela. Glavne i pomoćne baze su **montažne baze** jer one utječu na vrstu montažnih spojeva. Pozicije s baznim površinama, koje u nekom sklopu ili u podsklopu čine spojnu kariku i definiraju položaj ostalih pozicija, nazivamo **baznim dijelovima.**



④ Površine na strojnim dijelovima

Spojnu površinu vrste *C*, kao na ④b (površina remenice na koju naliježe remen), nazivamo **funkcionalnom.** Kod zupčanika te površine su bokovi zuba, kod navojnih vretena — površine navoja i sl. Ostale površine (*D* na ④) su slobodne površine.

Na ⑤ dan je shematski prikaz različitih vrsta površina.

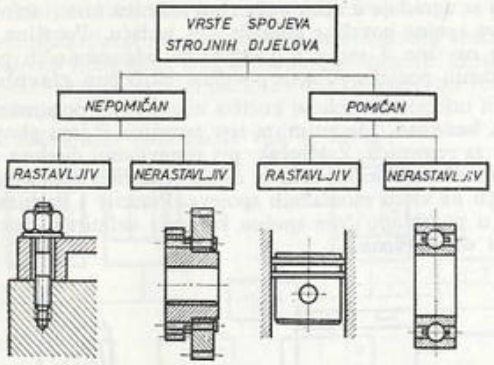


⑤ Shema površina strojnih dijelova

28.7 Spojevi pri sastavljanju strojeva i mehanizama

Sve spojeve dijelova, sklopova i mehanizama, ovisno o njihovoj konstruktivnoj izvedbi, možemo svrstati u dvije skupine, i to u pomične i u nepomične spojeve.

Dijelovi pomičnih spojeva pri radu se gibaju jedan u odnosu prema drugome, što je određeno kinematskom shemom mehanizma. Dijelovi nepomičnih spojeva pri radu se ne gibaju. Sa stanovišta rastavljivosti i pomični i nepomični spojevi mogu se još razvrstati u rastavljive i nerastavljive spojeve. Kod modernih strojeva i mehanizama udio rastavljivih spojeva iznosi oko 60 do 85% svih spojeva, što ovisi o specifičnosti konstrukcijske izvedbe. Pod rastavljivim spojem razumijevamo samo one spojeve koje možemo rastaviti, a da pri tome nijedan dio toga spoja ne oštetimo. Slikovit prikaz grupiranja spojeva koje susrećemo pri sastavljanju strojeva i mehanizama dan je na ⑥.



⑥ Spojevi strojnih dijelova

Nepomični rastavljivi spojevi su klinasti, navojni i konični. Nepomični nerastavljivi spojevi su stezni, uvaljani, zakovani i sl.

Pomični rastavljivi spojevi jesu osovina — klizni ležaj, cilindar — klip, zupčanici u zahvatu itd.

Pomični nerastavljivi spojevi su neke izvedbe kotrljajućih ležaja, zaporni ventili i sl.

28.8 Lanac dimenzija

Dijelovi bilo kojega sklopa ili stroja imaju svoje individualne izmjere koje se razlikuju od dijelova nekog drugog istovrsnog sklopa ili stroja, iako sve dimenzije leže u zahtijevanom području dopuštenih odstupanja. Svaku montažnu jedinicu možemo smatrati kao kombinaciju lanca dimenzija, gdje izmjera svakog pojedinog dijela u određenoj montažnoj jedinici čini kariku u lancu dimenzija.

Lanac dimenzija je skup dimenzija povezanih po određenom redu, koji se odnose na jedan ili više dijelova te određuju položaj ploha ili osi.

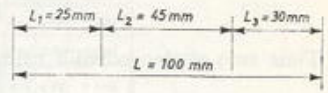
Na crtežima sklopova i pojedinih dijelova proizvoda ucrtane su različite dimenzije. Možemo ih podijeliti u dvije osnovne vrste:

— u proračunske dimenzije, koje su potrebne pri konstruiranju i proračunu

— u tehnološke dimenzije, koje su potrebne sa stajališta proizvodnje.

Kad određujemo proračunske dimenzije, ne nailazimo ni na kakve poteškoće. Jedna dimenzija neposredno slijedi iz druge po nekom teoretskom odnosu. Ako ih treba zbrajati, činimo to jednostavno, algebarski. To je dopušteno jer te veličine nemaju svojih dopuštenih odstupanja ⑦.

Ako se radi o tehnološkim dimenzijama, od kojih svaka ima neko svoje odstupanje, onda je rješenje složenije. O tomu se uči u teoriji dimenzioniranja. Rješenje počiva na lancu dimenzija. Pretvorimo li proračunske dimenzije iz ⑦ u tehnološke dimenzije, moramo veličinama L_1, L_2 i L_3 dati odgovarajuća dopuštena odstupanja D_1, D_2 i D_3. Možemo li sada reći kolika će biti ukupna dimenzija L, a koliko njezino odstupanje D?



⑦ Lanac proračunskih dimenzija

Ako su L_1, L_2 i L_3 aritmetičke sredine, njihovim algebarskim zbrojem dobit ćemo ukupnu aritmetičku sredinu L ⑧:

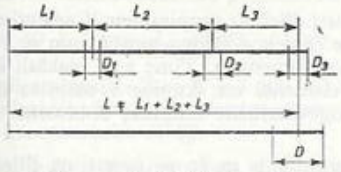
$$L = L_1 + L_2 + L_3$$

Međutim, za veličinu ukupnog odstupanja D možemo unaprijed odrediti samo granice u kojima se ono mora kretati:

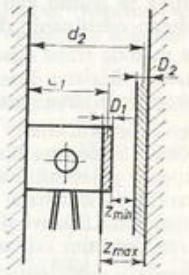
$$O \leq D \leq (D_1 + D_2 + D_3)$$

O pravoj veličini ukupnog dopuštenog odstupanja D možemo nešto više reći tek onda kad znamo da li su dimenzije L_1, L_2 i L_3 međusobno zavisne ili nisu. Ta je problematika razrađena u teoriji dopuštenih odstupanja.

Konstruktori još i danas propisuju nepotrebno malena dopuštena odstupanja. Takva odstupanja zahtijevaju veću pažnju pri radu, izbor operacije finih obrada, a to baš povećava troškove proizvodnje. Postavljanjem



⑧ Lanac tehnoloških dimenzija



⑨ Jednostavan lanac dimenzija spoja od dva elementa (cilindra i klipa)

dobrih lanaca dimenzija omogućujemo proizvodnju dijelova s većim dopuštenim odstupanjima ako se odredi pravilan način sastavljanja tih dijelova.

Primjer: cilindar i klip čine sklop sastavljen od dva elementa, čije mjere ulaze u lanac dimenzija ⑨.

Nominalan promjer cilindra je $d = 50{,}00$ mm. Kolika su dopuštena odstupanja cilindra i klipa te koje su njihove najmanje i najveće mjere ako se traži da najmanja zračnost klipa u cilindru bude $Z_{min} = 0{,}02$ mm, a najveća $Z_{max} = 0{,}04$ mm?

Prosječna zračnost je $Z = \frac{0{,}02 + 0{,}04}{2} = 0{,}03$ mm.

Promjer klipa $d_1 = d_2 - Z = 50{,}00 - 0{,}03 = 49{,}97$ mm.

Dopuštena odstupanja cilindra, klipa i propisane zračnosti u spoju je:

$$D = Z_{max} - Z_{min} = 0{,}02 = D_1 + D_2$$

Odaberemo li jednako dopušteno odstupanje za oba dijela, dobivamo:

$$D_1 = D_2 = 0{,}01 \text{ mm}$$

Time smo ujedno odredili najmanje i najveće dopuštene dimenzije cilindra i klipa:

$$d_{2max} = d_2 + \frac{D_2}{2} = 50{,}005 \text{ mm}$$

$$d_{2min} = d_2 - \frac{D_2}{2} = 49{,}995 \text{ mm}$$

$$d_{1max} = d_1 + \frac{D_1}{2} = 49{,}975 \text{ mm}$$

$$d_{1min} = d_1 - \frac{D_1}{2} = 49{,}965 \text{ mm.}$$

Tom metodom računanja dobili smo na svakom dijelu već dovoljno maleno dupušteno odstupanje. Da je u lancu dimenzija bilo više dijelova, dopušteno odstupanje svakog dijela bilo bi još manje.

Navedeni način računanja poznat je kao metoda potpune zamjenljivosti dijelova, a primjenljiva je jedino ako je sklop sastavljen od maloga broja dijelova i ako je ukupno dopušteno odstupanje dovoljno veliko.

Od te metode treba odstupiti kad su dopuštena odstupanja elemenata u lancu dimenzija premalena. Malena dopuštena odstupanja dimenzija na elementima mogu znatno otežati i poskupiti njihovu proizvodnju.

Mnogo ekonomičnija je metoda zamjenljivosti dijelova grupiranjem ili selektivna metoda. Povećamo li ukupno dopušteno odstupanje D nekog sklopa, povećavaju se i dopuštena odstupanja pojedinih elemenata u tom lancu dimenzija. Time smo olakšali i pojeftinili proizvodnju elemenata. Zatim sortiramo elemente na skupine s manjim dopuštenim odstupanjem. Sastavljajući elemente iz odgovarajućih skupina, dobivamo sklopove s manjim ukupnim odstupanjem.

Na primjeru spoja cilindar – klip metoda grupiranja može se izvesti na slijedeći način: povećajmo dopušteno odstupanje zračnosti tri puta, tj. umjesto na 0,02 mm povećavajmo na 0,06 mm. Povećavanjem odstupanja zračnosti povećali smo i dopušteno odstupanje i klipa i cilindra tri puta, tj. od 0,01 mm na 0,03 mm. Sada samo treba da sortiramo sve proizvedene cilindre i klipove u tri grupe tako da u svakom budu dijelovi čiji se promjeri razlikuju najviše za 0,01 mm. Znači da sada imamo:

$$d_{1max} = d_1 + \frac{D_1}{2} = 49{,}97 + 0{,}015 = 49{,}985 \text{ mm}$$

$$d_{1min} = 49{,}955 \text{ mm}$$

$$d_{2max} = 50{,}015 \text{ mm}$$

$$d_{2min} = 49{,}985 \text{ mm.}$$

Sortiranje dijelova mogli bismo izvesti kao što je prikazano u tablici 1.

Sortiranje dijelova metodom zamjenljivosti grupiranjem

Tablica 1.

Grupa	ϕd_1 (mm) 49,955 – 49,965	ϕd_1 (mm) 49,965 – 49,975	ϕd_1 (mm) 49,975 – 49,985	ϕd_2 (mm) 49,985 – 49,995	ϕd_2 (mm) 49,995 – 50,005	ϕd_2 (mm) 50,005 – 50,015	Zračnost Z_{max}	Zračnost Z_{min}	Odstupanje u spoju
I	Z_{min} →	Z_{max} →					0,04	0,02	+ 0,02
II	← Z_{max}			← Z_{min}			0,04	0,02	+ 0,02
III							0,04	0,02	+ 0,02

U proizvodnji izmjerit ćemo svaki dio prije montaže i razvrstati u jednu od predvidenih skupina. Tek nakon izvršenog sortiranja možemo započeti montažu. Sve dijelove koji pripadaju jednoj skupini moramo označiti istom oznakom. Pri sortiranju dijelova upotrebljavaju se specijalni mjerni uređaji. U velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji primjenjuju se automati, koji grupiraju dijelove u klase točnosti do 0,5 μ, s kapacitetom od nekoliko tisuća komada u satu.

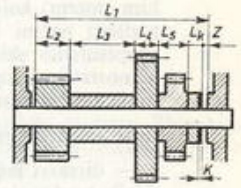
Iz tablice vidimo da je selektivna metoda osigurala traženu zračnost u spoju mada smo znatno povećali dopuštena odstupanja na elementima toga spoja. Potpuna zamjenljivost moguća je samo u okviru jedne skupine. Daljnjim proširenjem dopuštenih odstupanja povećali bismo broj skupina, što opet zahtijeva dovoljno veliku količinu proizvedenih dijelova.

Ako u lancu dimenzija nekoga sklopa ugrađujemo više dijelova, a proizvodimo ih u manjim količinama, ne isplati se raditi na prethodno opisani način. Tada je mnogo ekonomičnija primjena metode kompenzacije. Ta metoda omogućava proizvodnju dijelova s većim dopuštenim odstupanjima. Svi elementi su potpuno zamjenljivi osim jednoga, koji služi kao kompenzator u lancu dimenzija. Kompenzator dobiva posebno određene mjere jer mora poslužiti kao korektor odstupanja svih ostalih elemenata u lancu dimenzija.

Primjer. Na vratilu reduktora poredani su elementi zadanih dužina: $L_1 = 230 \pm 2$ mm,

$$L_2 = 50 \pm 2 \text{ mm},\ L_3 = 100 \pm 2 \text{ mm},\ L_4 = 25 \pm 1 \text{ mm},\ L_5 = 35 \pm 1 \text{ mm}.$$

Dopuštena zračnost je $Z = 2 \pm 1$ mm. Treba izračunati najveću i najmanju dimenziju kompenzatora L_{kmin} i L_{kmax}, te veličinu kompenzacije K ⑩.



⑩ Lanac dimenzija sastavljen od više elemenata

Najmanju dužinu kompenzatora L_{kmin} dobivamo u slučaju kad se slože ove dimenzije:

$$L_{1min} = L_{2max} + L_{3max} + L_{4max} + L_{5max} + L_{kmin} + Z_{max}$$

$$L_{1min} = 228 - 52 - 102 - 26 - 36 - 3 = 9 \text{ mm}$$

Najveću dužinu kompenzatora L_{kmax} dobivamo u slučaju kad složimo ove dimenzije:

$$L_{1max} = L_{2min} + L_{3min} + L_{4min} + L_{5min} + L_{kmax} + Z_{min}$$

$$L_{kmax} = 232 - 48 - 98 - 24 - 34 - 1 = 27 \text{ mm.}$$

Veličinu kompenzacije K izračunavamo ovako:

$$K = L_{kmax} - L_{kmin} = 27 - 9 = 18 \text{ mm}$$

U tom primjeru ostvarili smo potpunu zamjenljivost dijelova koje možemo proizvoditi s velikim dopuštenim odstupanjima. Jedino kompenzator moramo prilagoditi za svaki sklop posebno.

Načelo zamjenljivosti dijelova nije ekonomično za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju. Napuštanjem tog načela možemo povećati dopušteno odstupanje.

Primjer: spoj propelera i glavnog vratila ⑪.

Iz slike vidimo da je najmanje stezanje u spoju

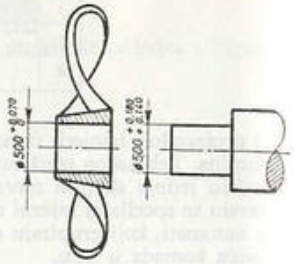
$$Z_{min} = 0{,}140 - 0{,}070 = 0{,}070 \text{ mm}$$

a najveće

$$Z_{max} = 0{,}180 - 0 = 0{,}180 \text{ mm.}$$

Ukupno dopušteno odstupanje u stezanju je

$D = Z_{max} - Z_{min} = 0{,}110$ mm, koje se dijeli na oba elementa u lancu dimenzija, pa svaki od njih ima manje odstupanje. Bolje je rješenje ako ukupno dopušteno odstupanje predvidimo samo na jednom elementu. U navedenom primjeru to bismo mogli ostvariti. Obradimo prvo propeler na približno nominalnu mjeru i izmjerimo tačno promjer provrta. Neka je on veličine d. Vratilo ćemo moći obraditi na veličinu $d \begin{smallmatrix} +0{,}180 \\ +0{,}070 \end{smallmatrix}$. Time smo povećali dopušteno odstupanje promjera vratila na 0,110 mm od prijašnjih 0,180 − 0,140 = = 0,040 mm, premda smo osigurali stezanje u granicama kao i prije.



⑪ Spoj propelera i glavnog vratila

28.9 Priprema dijelova za sastavljanje

Priprema dijelova (prije procesa sastavljanja) po trajanju i vrsti radova može biti vrlo različita. To u biti ovisi o dva faktora: o konstruktivnoj izvedbi proizvoda i o količini proizvoda.

A — U metalnoj industriji — u proizvodnji strojeva i uređaja, prije procesa sastavljanja većinu dijelova redovito podvrgavamo dvjema pripremnim operacijama: čišćenju i pranju.

Operacija »čišćenje« predviđa razne načine odstranjivanja čestica (obično mehaničkim putem) koje su ostale na površinama dijelova nakon strojne obrade. To su različiti načini brušenja ili četkanja površina. Ponekad kao operaciju čišćenja propisujemo skidanje srha na ivicama. Dijelove koje kasnije ne ličimo čistimo jednostavno propuhivanjem komprimiranim zrakom ako takva čistoća površina funkcionalno zadovoljava.

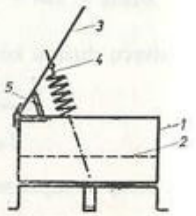
Prije sastavljanja strojne dijelove peremo iz dva razloga:

1 — dijelovi koji se gibaju moraju na dodirnim površinama biti posve čisti i od sitnih čestica, jer bi one inače prouzročile ubrzano istrošenje ili zaribavanje takvih pomičnih spojeva;

2 — dijelove koje nakon sastavljanja ličimo treba da prethodno oslobodimo raznih masti i ulja koje su se nakupile na površinama tokom strojne obrade.

Dijelove i montažne jedinice redovito peremo prvo u petroleju, a zatim u benzinu ili u toploj vodi, kojoj dodajemo razne dodatke (sodu, vodeno staklo, praške i sl.).

Manje dijelove peremo u prikladnim kadama, kao što je ona prikazana na ⑫.

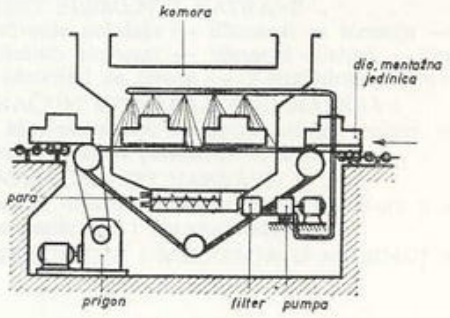


⑫ Kada za pranje manjih dijelova

Kada (1) izvedena je iz pocinčanog čeličnog lima, a u njoj je ugrađeno sito (2). Ona se zatvara poklopcem (3), i to pomoću vlačne opruge (4). U otvorenu stanju poklopac je poduprt celuloidnim štapićem (5). Ako se petrolej ili benzin u kadi upali, celuloidni štapić momentano izgori, a poklopac se automatski zatvori pa je požar lokaliziran i spriječen. Pranje benzinom vrlo je opasno i lako dolazi do požara jer se benzin pri pranju dobro promiješa sa zrakom. Zbog toga mu dodajemo neke komponente koje mu smanjuju moć zapaljivosti. Čest dodatak je 3% ugljikova tetraklora (CCl_4) ili ova mješavina: 7,5% trikloretilena (C_2HCl_3) i 7,5% ugljikova tetraklora (CCl_4). Navedeni nezapaljivi dodaci se vrlo lako otapaju u benzinu, ne djeluju štetno na ljudsku kožu, a prema metalu ponašaju se indiferentno. Ako dijelovi sadržavaju aluminija ili bakra, onda dodaci stvaraju klorove spojeve koji su štetni. U tom slučaju poslije pranja treba dijelove odmah sušiti komprimiranim zrakom.

Za pranje većih dijelova upotrebljavaju se bazeni koji su opremljeni potrebnim uređajima. U velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji upotrebljavamo tunele za pranje dijelova i montažnih jedinica. Prema veličini komada primjenjuju se jednokomorni dvokomorni ili trokomorni tuneli. Na ⑬ prikazan je jednokomorni tunel.

Dijelovi ili sklopovi preko kontinuirane trake ulaze u zatvoren prostor, gdje se obavlja pranje bez učešća radnika. Kao sredstvo za to upotrebljavaju se zagrijane alkalične rastopine u vodi, npr: 3—5% rastopine kalcijeve sode sa sapunom ili 0,5% rastopine sapuna. Te i slične rastopine dobro peru dijelove od ulja i masti,

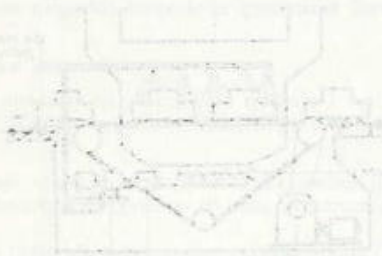


⑬ Jednokomorni tunel za pranje dijelova

no štetno djeluju na površine čeličnih, a napose aluminijskih dijelova. Zbog toga ih moramo isprati čistom vodom i odmah zatim propuhati komprimiranim zrakom prije negoli se ohlade da površine ne bi počele oksidirati.

B — U drugu skupinu pripremnih radova spadaju one operacije pri kojima se dijelovi ili dotjeruju ili obraduju da bi neposredno prije montaže dobili konačan oblik kakav je propisan crtežom. Tu se redovito radi o onim obradama koje nisu mogle biti izvršene u strojnoj obradi iz tehnoloških ili konstruktivnih razloga. U većini slučajeva to su ručne obrade: dotjerivanje površina brušenjem, turpijanjem, lepanjem itd.; razna bušenja, upuštanja, narezivanja navoja i sl.

Ručne obrade su dugotrajne operacije. Zbog toga nisu poželjne i treba ih propisivati samo onda kad ne postoji drugo rješenje. Ako ih zaista ne možemo izbjeći, nastojimo ih izvesti prije procesa sastavljanja, tj. predvidimo ih kao pripremne radove. Ipak, one su često neizbježive u predmontaži, a nekad i u završnoj montaži.



REBEC Bruno, dipl. inženjer strojarstva

STEZNE I MJERNE NAPRAVE

29.1 OPĆENITO O STEZNIM I MJERNIM NAPRAVAMA 925
Pojam, zadatak i svrha naprava — Pojam baza ili osnova — Odredivanje baza — Oblikovanje i standardi — Načela konstruiranja naprava

29.2 PODJELA NAPRAVA 928
Stezne naprave za obradu sa i bez skidanja strugotine — Stezne naprave sa stajališta raznih načina upotrebe

29.3 UTJECAJI NA STEZNE I MJERNE NAPRAVE 932
Broj komada izradaka — Plan proizvodnje — Materijal izratka — Stvarni odnosi između naprave, izratka, alata, držala, stroja, mjerila i čovjeka

29.4 KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI NAPRAVE 936
Elementi za određivanje položaja — Elementi za stezanje — Ručna stezala — Ostali konstrukcijski elementi — Sastavni dijelovi — Standarni dijelovi — Kotiranje — Materijal za izradu — Konstruiranje i ispitivanje naprava

29.5 OSNOVNI PRORAČUN STEZANJA KOD NAPRAVA 949
Sila stezanja kod klinova, vijaka, ekscentra, steznih poluga, stezanja zrakom, hidrauličkog stezanja i stezanja plastičnim masama

29.6 ANALIZA EKONOMIČNOSTI NAPRAVE 957
Cijena koštanja izratka obrađenog bez naprave, napravom u dvije alternative — Rentabilnost mehanizacije i automatizacije

29.7 PRIMJER KONSTRUKCIJE I MJERENJA U MJERNOJ NAPRAVI . . 962

Literatura

Hercigonja I.: Tehnička priprema rada. Beograd, Privredni pregled, 1963.

Rajić F.: Konstrukcija, izrada i primena alata. Beograd, Centar za tehničku i naučnu dokumentaciju, 1962.

Scheibe H. E.: Priručnik za konstruktore pomoćnih alata i alatničare. Beograd, Industrijska knjiga, 1949.

Anserov M. A.: Prisposoblenija dlja metallorežuščih stankov. Moskva 1960.

Mitrofanov S. P.: Naučni temelji grupne tehnologije. Zagreb, Privreda, 1964.

*** Spravočnik metallista — tom 4. Moskva, Mašgiz, 1958.

Kraut B.: Strojarski priručnik. Zagreb, Tehnička knjiga, 1963.

		SI	TSM
a	dužina	m	m
A	površina	m^2	m^2
A_k	— klipa u masi	m^2	m^2
A_r	— radnog klipa	m^2	m^2
b	dužina	m	m
c	dužina	m	m
d	promjer	m	m
d_k	— klipa u masi	m	m
d_r	— radnog klipa	m	m
D	promjer	m	m
D_u	— unutarnji	m	m
D_v	— vanjski	m	m
e	ekscentricitet	m	m
F	sila	N	kp
F_p	pritisak klipa	N	kp
F_s	sila stezanja	N	kp
G	težina	N	kp
h	visina, uspon	m	m
H	visina	m	m
l	dužina	m	m
L	dužina	m	m
M	moment sile	Nm	kpm
n	broj okreta, brzina vrtnje	1/s	1/s
p	tlak, pritisak	N/m^2	kp/m^2
r	radijus, polumjer	m	m
r_m	srednji polumjer	m	m
R	radijus, polumjer	m	m
s	put, dužina puta	m	m
t	vrijeme	s	s
v	brzina	m/s	m/s
x	visina	m	m
α	kut (geometrijski), kut uspona	rad	°
β	kut (geometrijski)	rad	°
μ	koeficijent trenja	1	1
ρ	kut trenja	rad	°
φ	kut trenja	rad	°

29 STEZNE I MJERNE NAPRAVE

Konstrukcija naprava nije se razvijala usporedo s konstrukcijom alatnih strojeva. Tek u posljednjih dvadesetak godina razvila se kao specijalna industrijska grana. Danas su naprave postale neophodne za ekonomičnu obradu izratka u mehaniziranoj i u automatiziranoj proizvodnji.

29.1 OPĆENITO O STEZNIM I MJERNIM NAPRAVAMA

29.11 POJAM, ZADATAK I SVRHA NAPRAVE

Velika raznolikost izradaka s obzirom na materijal, način obrade, oblik, mjere, kao i s obzirom na potrebnu mjeru točnosti površine, stavlja na naprave mnogobrojne zahtjeve. Njihovoj konstrukciji i primjeni pridaje se u izgradnji naše privrede i radi povećanja proizvodnosti rada veliko značenje. Njihova primjena postaje nužna potreba jer se time proces proizvodnje pojednostavnjuje i jamči veća točnost, a to osigurava visokoproizvodni proces rada.

Stezna naprava je sredstvo za proizvodnju koje upotrebljavamo pri obradi nekog izratka (izradevine, dijela, komada), bilo u samostalnoj proizvodnji, bilo u zajednici s nekim strojem.

Gotovo svaka vrsta obrade zahtijeva za prihvaćanje i za stezanje izratka steznu napravu. Prema tome, zadatak je naprave: postaviti izradak u pravilan položaj i održati ga prisilno u njemu za vrijeme dok mu se ne promijeni oblik predviđen određenom operacijom.

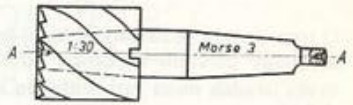
Svrha je ovih naprava:

1 — smanjiti vrijeme obrade pojedinog izratka i ujedno smanjiti punu cijenu koštanja proizvoda
2 — postići poboljšanje kvalitete obrađivanog izratka
3 — omogućiti priučenim i nestručnim radnicima da obavljaju radove više kvalitete
4 — što bolje iskoristiti raspoložive strojeve.

29.12 POJAM »BAZA« ILI »OSNOVA«

Konstrukcija, montaža i funkcija nekog strojnog elementa zavise od međusobnog položaja površina, koje ga omeđuju, prema određenom koordinatnom sistemu. Da se odredi i učvrsti položaj predmeta prema drugom predmetu, s kojim dolazi u vezu pri montiranju ili prema alatu pri obradi, potrebno je da se utvrde »baze«.

Pod pojmom »baza« razumijevamo skup geometrijskih elemenata — površina, linija ili točaka — prema kojima se orijentiraju one površine predmeta koje se sparuju u gotovu proizvodu s drugim dijelovima uređaja ili one površine predmeta koje se u danoj operaciji obrađuju.



① Konično držalo s Morseovim konusom i čelno valjkasto glodalo

Kao primjer razmotrimo konično držalo s Morseovim konusom i čelno valjkasto glodalo.

① prikazuje takvo glodalo

Konstruktorska baza bit će geometrijska os A—A jer će se od nje sve kotirati.

Tehnološka baza bit će centrirni uvrt za šiljke na oba kraja držala jer će se od njih odvijati čitava obrada za rezanje i za učvršćenje.

Montažna baza bit će konus na glodalu i oba konusa na trnu.

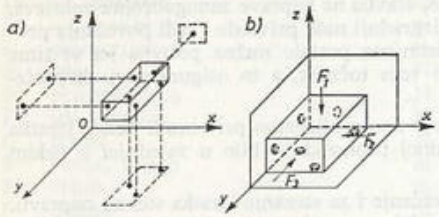
Mjerna baza bit će površina reznog dijela glodala i površina konusa za učvršćenje u stroju.

29.13 ODREĐIVANJE BAZA

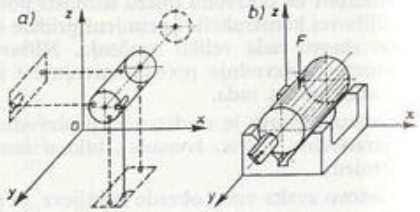
Izradak koji moramo obradivati obično ima pravilne površine, ali raznih oblika — to su pravokutnici, valjci, konusi itd. Zbog toga imamo nekoliko osnovnih načina za postavljanje izratka.

Pravokutni izradak postavljen u prostorni koordinatni sistem može se kretati po osima OX, OY, OZ u oba smjera. Odredimo li koordinate šest točaka ②a, imamo točno fiksiran položaj pravokutnog izratka.

Tri točke u ravnini OXY, dvije u ravnini OYZ i jedna u ravnini OXZ ograničuju izradak i on se više ne može slobodno kretati u prostoru jer mu je oduzeto šest stupnjeva slobode. Ako na izradak djelujemo silama F_1, F_2 i F_3 ②b, a postavili smo ga tako da je naslonjen na određene oslonce, sigurno je da se u tom položaju neće moći pomaknuti. Ravnina u kojoj je izradak naslonjen u tri točke zove se glavna baza za postavljanje izratka.

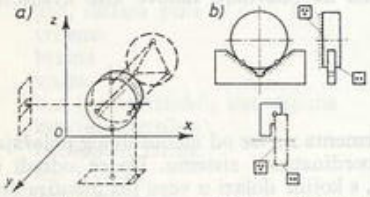


② Određivanje baza na pravokutnom izratku



③ Određivanje baza na valjkastom izretku

Za postavljanje valjkastog (cilindričnog) izratka u prostorni koordinatni sistem potrebno je odrediti pet točaka ③a, i to po dvije u ravnini OXY i OYZ, a jednu u ravnini OXZ.



④ Određivanje baza na pločasto valjkastom izratku

Oduzeto mu je pet stupnjeva slobode i izradka se ne može više slobodno kretati.

Okretanje osovine valjka oko njegove osi može se spriječiti postavljanjem utora za klin. Ravnine prizme u kojima se valjak naslanja sa po dvije točke ③b zovu se glavna baza za postavljanje valjkastog izratka, a za stezanje dovoljna je sila F.

Za postavljanje pločasto-valjkastog (cilindričnog) izratka u prostorni koordinatni sistem potrebno je odrediti također pet točaka ④a, i to po jednu u ravninama OXY i OYZ, a tri u ravnini OXZ. Time mu je oduzeto pet stupnjeva slobode i više se ne može slobodno kretati.

U tom slučaju se ravnina u kojoj je naslonjena ploča sa tri točke zove glavna baza za postavljanje pločasto-valjkastog izratka.

Svaki izradak mora biti centriran tako da mu se oduzme najviše šest stupnjeva (točaka) slobode.

Postoje tri vrste baza za centrirajuće stezanje:

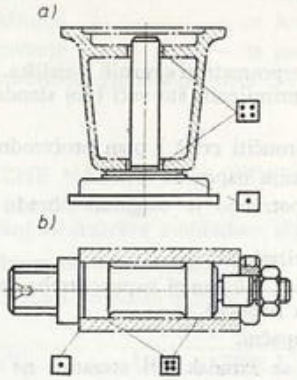
1 — **osnovna ili glavna baza,** npr. postavljanje površine na tri točke, postavljanje po dugačkoj cilindričnoj površini na četiri točke;

2 — **orijentacijska baza,** npr. postavljanje površine po liniji na dvije točke, postavljanje po kratkom cilindričnom trnu (pojasu) na dvije točke;

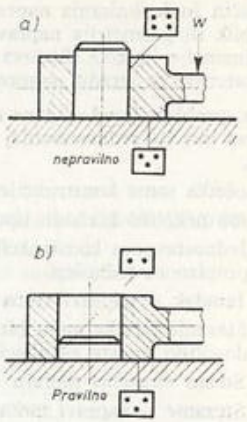
3 — **uporišna baza,** npr. postavljanje površine na jednu točku, postavljanje na kratak odrezani trn na jednu točku.

Oslanjanje izratka možemo podijeliti ovako:

1 — oslanjanje po otvoru i sa čelne strane ⑤a izradak na visokom trnu, ⑤b na steznom trnu za tokarenje



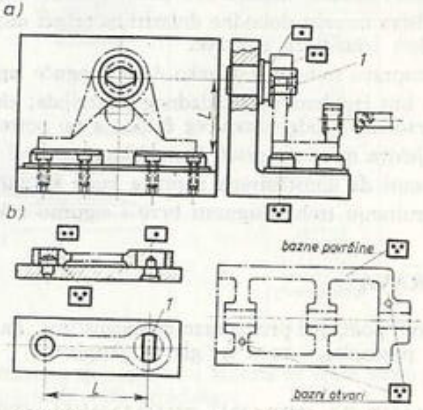
⑤ Oslanjanje po otvoru i s čelne strane



⑥ Oslanjanje s čelne strane i u otvoru

2 — oslanjanje sa čelne strane i u otvoru ⑥a nepravilno, jer je na dugom trnu oslonac četiri točke, a ⑥b pravilno jer kratak trn daje dvije točke oslanjanja

3 — oslanjanje po ravnoj površini i u otvorima ⑦.



⑦ Oslanjanje po ravnoj površini i u otvorima

29.14 OBLIKOVANJE I STANDARDI

Ispravno oblikovanje naprave za određene načine proizvodnje po određenim načelima dovodi do tipizacije i standardizacije. Napose je potrebno upotrijebiti standardne elemente za centriranje i stezanje.

U tablici 29.46—1. prikazani su neki standardni elementi naprave.

29.15 NAČELA KONSTRUIRANJA NAPRAVA

Pri konstruiranju naprava moraju se uzeti u obzir četiri osnovna načela pomoću kojih se ostvaruje zamišljenja ideja. To su:

1 — način funkcioniranja naprave
2 — oblik ili geometrija naprave
3 — dimenzije ili kote dijelova naprave i
4 — materijal za izradu naprave.

Nadalje, problem izrade stezne naprave mora se promatrati s raznih stajališta. Konstrukcija mora biti što jednostavnija, a potrebno je primijeniti što veći broj standardnih elemenata.

Prije početka same konstrukcije potrebno je proučiti crtež i plan proizvodnje izratka. Navedimo nekoliko korisnih uputa za konstrukciju naprava!

1 — Jednostavnom konstrukcijom naprave potrebno je osigurati obradu izratka s propisnom točnošću.
2 — Izradak u napravi treba pravilno centrirati.
3 — Stezanje izratka mora biti točno i sigurno, a u samoj napravi treba da bude dodovoljno mjesta za ubacivanje izratka u napravu.
4 — Stezni elementi moraju biti lako pristupačni.
5 — Stezanje u napravi mora biti takvo da se izradak pri stezanju ne deformira.
6 — Sile stezanja moraju se prenositi samo preko tijela naprave, a ne preko elemenata za stezanje i pri tome se tijelo ne smije deformirati.
7 — Stezni elementi moraju biti, po mogućnosti, točno iznad oslonca da se izradak ne deformira.
8 — Mora biti predviđeno odvođenje strugotine kako ne bi došlo do loma alata i da se odvodi nepotrebna toplina.
9 — Sve vodice (vitke, čahure) moraju biti zaštićene od strugotine.
10 — Rashladna sredstva moraju slobodno dolaziti na režući dio alata, a nakon hlađenja moraju slobodno izlaziti iz naprave.
11 — Konstrukciju naprave treba izvesti tako da je moguće lagano čišćenje strugotine.
12 — Naprava mora biti izrađena od prikladnog materijala; elementi izloženi trošenju moraju biti izrađeni od odgovarajućeg čelika, a po potrebi i zakaljeni i brušeni.
13 — Tolerancije dijelova mora propisati konstruktor.
14 — Potrebno je paziti da konstruirana naprava bude po mogućnosti što lakša.
15 — Već pri konstruiranju treba osigurati brzo i sigurno rukovanje napravom.

29.2 PODJELA NAPRAVA

Stezne naprave možemo podijeliti prema raznim stajalištima. Za praksu je najbolja podjela prema radnom postupku, i to u tri glavne skupine.

29.21 STEZNE NAPRAVE ZA OBRADU SKIDANJEM STRUGOTINE

Te naprave podijeljene su prema vrstama obrade, i to:

- za bušenje
- za tokarenje
- za glodanje
- za brušenje
- za provlačenje
- za razvrtavanje
- za piljenje
- za graviranje
- za lepanje
- za glačanje itd.

(Skice nekih naprava prikazane su u poglavlju 29.23.)

29.22 STEZNE NAPRAVE ZA OBRADU BEZ SKIDANJA STRUGOTINE

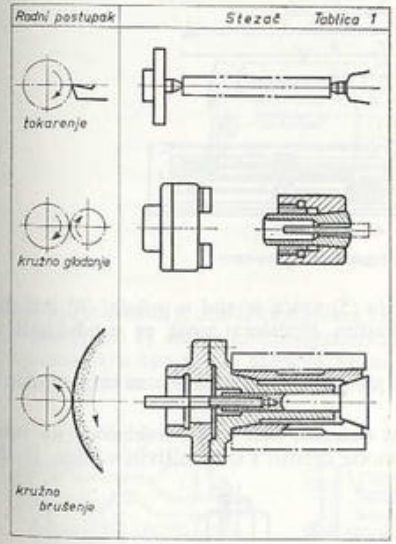
Te naprave možemo podijeliti ovako:

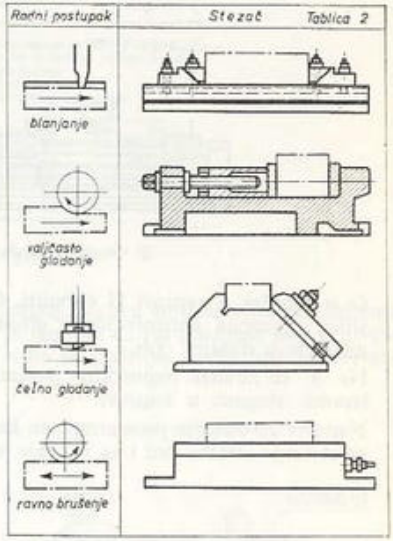
- za montažu
- za tiskanje
- za zakivanje
- za vezivanje
- za mjerenje ili ispitivanje (vidi 29.7).
- za namatanje
- za lijepljenje
- za lemljenje
- za zavarivanje

29.23 STEZNE NAPRAVE SA STAJALIŠTA RAZNIH NAČINA UPOTREBE

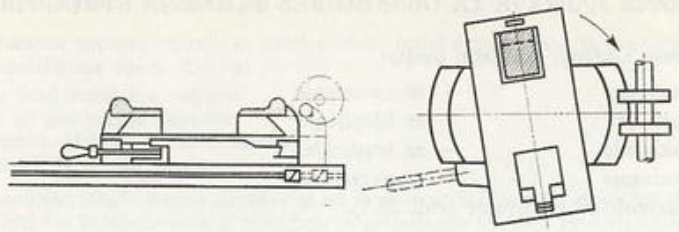
U ovoj skupini naprave s obradom skidanja strugotine mogu biti:

- s kružnom obradom tablica 1 ili
- s uzdužnom obradom tablica 2



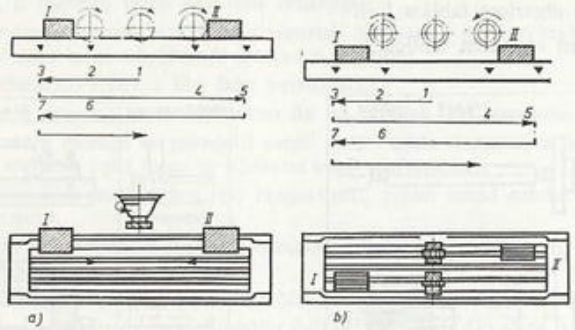


- s jednim ili više stezanja, tj. naprave u kojima se steže samo jedan izradak i takve u kojima se istodobno steže više izradaka
- s više svrha, koje služe za obradu raznovrsnih izradaka; ove napose dolaze u obzir pri grupnoj tehnologiji
- s izmjenljivom ili neprekidnom obradom tj. ili je predviđeno više naprava koje se naizmjenično dovode mjestu obrade ① i ② i poslužuje stroj, ili se više naprava neprekidno dovodi mjestu obrade ③. U tom se slučaju stroj može pripremati za vrijeme obrade. ① prikazuje dvije naprave koje pomoću okretnog stola u napravi naizmjenice dovode glodalu stegnute izratke. Za vrijeme dok se izrađevina umeće u napravu glodalo obrađuje stegnuti izradak u drugoj napravi.



① Glodanje na okretnom stolu

Na stolu stroja ② stegnute su dvije naprave — I i II. Stroj je brzohodan. Pri čelnom glodanju ②a glodalo obrađuje izradak u napravi I od (2) na (3). Međutim, izradak u napravi II će se izmijeniti; tada će se stol u brzom hodu dovesti u položaj (4). Pri tome

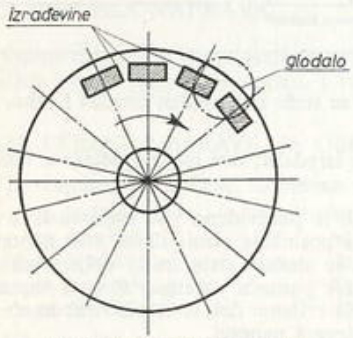


② Glodanje: vođenje stola s napravom tamo-amo

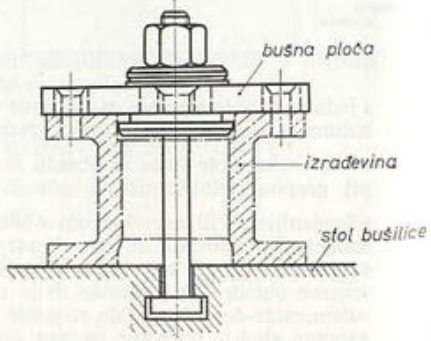
će se izradak u napravi II obraditi. Od položaja (5) vraća se stol u položaj (6) itd. Isti slijed operacija naizmjeničnog glodanja valjkastim glodalom može se predvidjeti za glodanje u dubinu ②b.

Na ③ će izradak neprekidno prolaziti ispod glodala ili sloga glodala za vrijeme dok je izradak stegnut u napravi.

Naprave za bušenje promatrane su kao posebna skupina. One se upotrebljavaju ne samo za stezanje izratka već i za vođenje svrdla pomoću čvrstih i izmjenljivih vodica. U tim



③ Glodanje na kružnom stolu



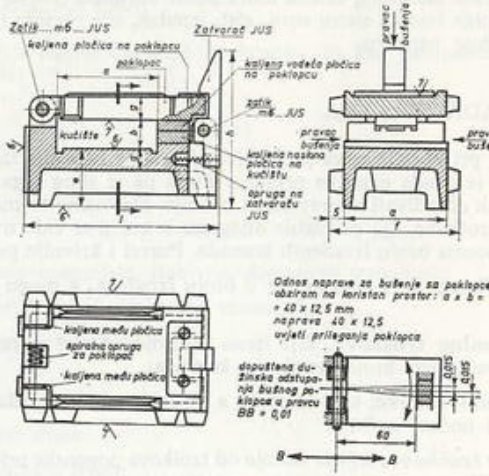
④ Šablona za bušenje

napravama mogu se rupe osim toga upuštati, razvrtavati i narezivati. P rema oblikovanu naprave za bušenje mogu biti:

1 — šablone za bušenje
2 — naprave za bušenje s bušnim poklopcem
3 — obrtljiva naprava za bušenje i
4 — okretna naprava za bušenje.

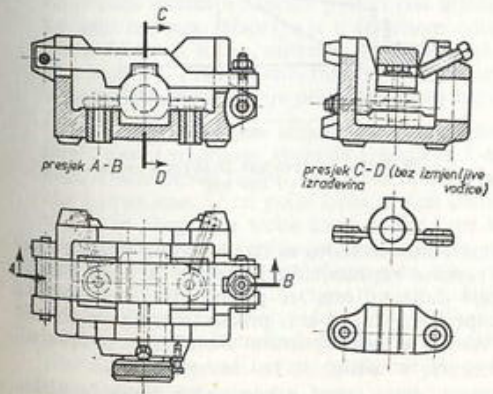
Na ④ prikazana je šablona za bušenje, stegnuta na izratku.

⑤ prikazuje napravu za bušenje s bušnim poklopcem. Prema položaju rupa na izratku mogu se umetnuti potrebne vitke i stezni elementi te bušiti na jednu, dvije ili tri strane.

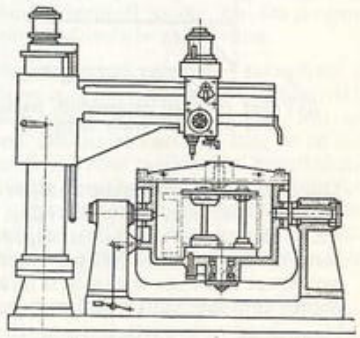


⑤ Naprava za bušenje s poklopcem

Na ⑥ prikazana je obrtljiva naprava za bušenje jednog ležaja u kojoj se buše ležajna rupa i dvije rupe za stezanje. Karakteristično je kod te naprave to što poklopac koji se ovdje upotrebljava kao stezni element nema na sebi vitke za vođenje svrdla, već se one nalaze u stabilnom dijelu na kojem leži izradak.



⑥ Obrtljiva naprava za bušenje



⑦ Okretna naprava za bušenje

Na ⑦ prikazana je okretna naprava za bušenje koja se postavlja na stol radijalne bušilice. Takve se naprave obično grade kad je izradak tako težak ili tako velikog obujma da se ne može obradivati u obrtljivoj napravi.

29.3 UTJECAJI NA STEZNE I MJERNE NAPRAVE

Glavni zadatak naprave sastoji se u određivanju položaja i stezanju izratka. Njezin konstruktivni oblik, koji treba da to omogući, ovisi o utjecaju čitavog niza faktora, koje konstruktor pri izradi sastavnog crteža mora imati na umu. To su u prvom redu broj komada izradaka, plan izrade, alatni stroj, alat, izradak, sile rezanja i stezanja i, konačno, čovjek koji poslužuje napravu.

29.31 BROJ KOMADA IZRATKA

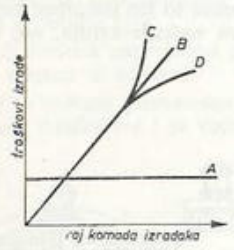
Upotreba naprave pri obradi mora pridonijeti da cijena koštanja izratka bude što niža. Treba naglasiti da je izrada naprave prilično skupa pa je zbog toga važno razmisliti da li će se neki izradak obradivati napravom ili bez nje. Da bismo to mogli uočiti, potrebno je izvršiti analizu troškova. ① prikazuje dijagram iz kojeg se vide troškovi obrade nekog izratka u odnosu prema broju izrađenih komada. Pravci i krivulje prikazuju ove faktore:

A — **fiksne troškove,** koji nisu ovisni o broju izradaka, a mogu se samo povremeno mijenjati;

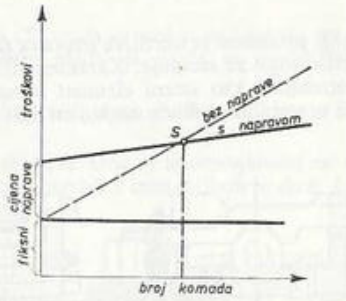
B — **proporcionalne troškove,** čiji iznos uglavnom ovisi o proizvodnoj količini i raste s povećanjem broja izrađenih komada;

C — **progresivne troškove,** koji su rjeđi, a dolaze u obliku troškova izazvanih radom u drugoj ili noćnoj smjeni;

D — **degresivne troškove,** koji se sastoje od troškova pogonske režije i nekih elemenata upravne režije.



① Prikaz ovisnosti proizvodnih troškova o broju izrađenih komada



② Prikaz proizvodnih troškova s napravom i bez nje

Dijagram na ② prikazuje zbroj svih proizvodnih troškova za izradu nekog izratka s napravom i bez nje. Pri proizvodnji bez naprave nepromjenljivi troškovi su niži, i to za iznos naprave. Obrada bez naprave traje dulje vrijeme jer promjenljivi dio troškova raste nešto strmije negoli pri obradi s napravom. Pravci koji prikazuju troškove obrade napravom i bez nje sijeku se u točki S. Ako iz te točke spustimo okomicu na os apscisu, dobit ćemo najmanji broj izradaka koji je još rentabilan za rad bez naprave.

Ekonomski je opravdano izradivati naprave samo iznad nekog većeg broja izradaka.

29.32 PLAN PROIZVODNJE

Temelj za projektiranje bilo kojeg specijalnog alata pa, prema tome, i naprava, jest plan proizvodnje (operacioni i tehnološki postupci). Zbog toga, prije konstrukcije naprave treba da budu gotovi koncepti plana proizvodnje. Pri planiranju radne operacije odredit će se vrsta naprave, npr. naprava za bušenje, za ispitivanje itd. Nadalje će se u radnoj operaciji utvrditi da li će se samo jedan ili više komada istodobno obradivati. Ako se radi o jednom komadu, može se predvidjeti jedna ili više jednakih naprava.

29.33 MATERIJAL IZRATKA

Izradak se ulaže u napravu obično neobrađen, ili kao poluproizvod, ili kao obrađeni komad. Može biti:

1 — lijevan
11 — u pijesku
12 — u kokili
2 — kovan
3 — zavaren
4 — od šipkastog materijala, dobiven skidanjem strugotine
5 — štancan, od lima ili trakastog materijala
6 — od bakelitne prašine
61 — prešan
62 — štrcan
7 — od plastične mase
8 — dobiven tlačnim livom
9 — porculanski, šamotni itd.

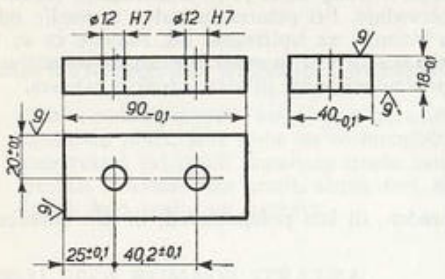
29.34 STVARNI ODNOS IZMEĐU NAPRAVE, IZRATKA, ALATA, DRŽALA, STROJA, MJERILA I ČOVJEKA

Za obradu izratka u napravi postoji više utjecajnih veličina koje različito djeluju na oblikovanje naprava. Naprava je u stvarnom odnosu prema izratku, alatu i držalu alata te prema alatnom stroju, mjernom sredstvu i, na kraju, posebno prema čovjeku koji poslužuje napravu. Prema tome, treba uzeti u obzir zbivanja i ispuniti uvjete, kao što je umetanje izratka, određivanje položaja izratka itd., da bi se udovoljilo zahtjevima.

U tablici 29.34—1 kao smjernici za konstrukciju naprava iznad rubrike A sakupljeni su ranije navedeni odnosi zbivanja i zahtjevi. Uzmu li se u obzir psihički, psihološki, tehnički i ekonomski faktori, mogu se izbjeći, odnosno znatno smanjiti propusti, loši potezi i promjene. U tri polja treba unijeli odnose koji djeluju na napravu koja će se razviti te ih zbog toga treba uzeti u obzir pri konstrukciji. Kao podloga za konstrukciju naprave služe: crtež izratka, materijal izratka, plan izrade i broj komada koji će se obraditi. Kao pri svakom konstrukcijskom radu, tako treba i konstruiranju neke naprave prilaziti sistematski te u svim uvjetima uvijek tražiti optimalno rješenje, kod kojeg će, dakle, utrošak i korist međusobno biti u najpovoljnijem odnosu. Zbog toga je pri konstruiranju uveden pojam **»konstrukcijska sistematika«.**

List smjernica prema tablici 29.34—1 primijenit ćemo na jednom primjeru za konstrukciju naprave pa ćemo pri tome istodobno prikazati konstrukcijsku sistematiku.

Na izratku ③ treba bušiti dvije rupe, a pri tome treba održati točnost koju traži crtež izratka. Razmak provrta je funkcionalna mjera, a služi za razmak dvaju zupčanika. Najprije treba odrediti položaj izratka.



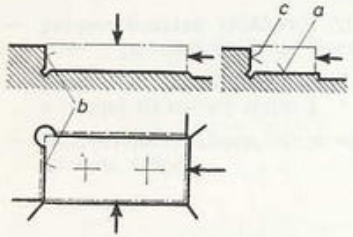
③ Izradak

Izvedba na ④ predviđa za određivanje položaja tri ravnine, tj. glatke površine (a, b, c). Nakon kritičnog razmatranja to načelo određivanja površina izratka je odbačeno. Na ⑤ je prikazano nešto povoljnije načelo. Ovdje umjesto na glatku ravnu površinu izradak naliježe na točkasto postavljene svornjake. Taj način podlaganja je bolji jer se odmah može uočiti da li neka strugotina smeta i da li se izradak jednoznačno oslonio na sve naležne strane.

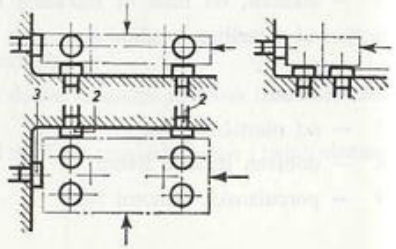
Na određivanje mjesta za stezanje utječe smjer stezne sile, kao i smjer umetanja izratka. ⑥ prikazuje jedno načelo stezanja pri umetanju izratka.

Dva stezna vijka (1) i (2) stežu izradak u smjeru površina nalijeganja. Kao rezna sila s gornje strane djeluje sila posmika spiralnog svrdla. Za vođenje reznog alata predviđene su vitke, utisnute u bušni poklopac (3).

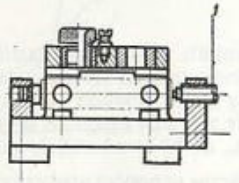
Daljnju skicu naprave, koja leži na skladištu predobrađena prikazuje ⑦.

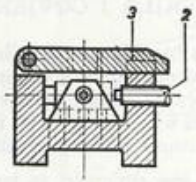


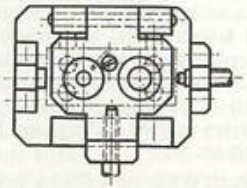
④ Određivanje položaja na glatkim plohama



⑤ Određivanje položaja na svornjacima

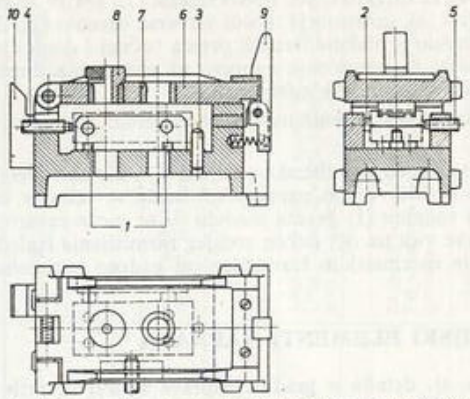






⑥ Princip stezanja izratka pri umetanju odozgo

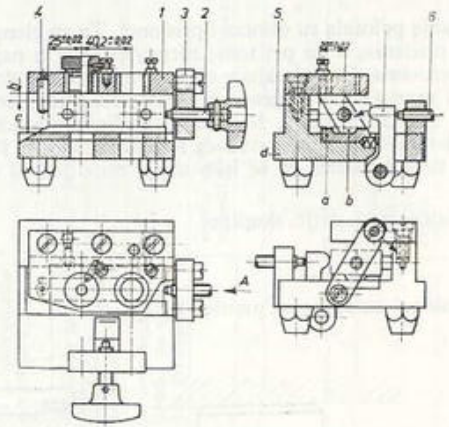
Oslonci (1) i (2) i cilindrični zatik (3) određuju položaj izratka. Steznim vijcima (4) i (5) izradak se priteže bočno. U poklopcu (6) nalaze se osnovne vitke (7) kao podloga za izmjenljive (8). Klackalica (9) osigurava poklopac da se ne otvori, a granični naslon (10) sprečava prebacivanje poklopca.



⑦ Standardni ormarići za bušenje (DIN 6347) s dodatnim elementima

Nakon razvoja te izvedbe pri provjeravanju lista smjernice utvrđeno je da pojedini zahtjevi još nisu zadovoljeni.

Zbog toga dolazi do konstrukcije naprave prema ⑧. Poboljšanje prema prethodnoj konstrukciji je očito. Dio za vođenje reznog alata (1) pričvršćen je vijcima i osiguran. Izradak se umeće sa strane, stezni vijak (2) se nalazi u okretnom mosnom zatvaraču (3).



⑧ Konačna izvedba naprave s usklađenim odnosima

Svornjaci za nalijeganje (1) prema ⑦ nisu prikladni za uvlačenje izratka pa je bolje ugraditi letve (a). Utor (b) treba izraditi tako dubok da vrh koji je nastao pri bušenju ne ometa vađenje izratka iz naprave. Umjesto svornjaka (3) prema ⑤ treba predvidjeti granični zatik (4), koji je postavljen odozgo.

U konačnoj izvedbi naprave ⑧ usklađen je odnos između naprave, izratka, alata, držala, stroja, mjerila i čovjeka.

Time je povoljnije uklanjanje strugotine, a slijedeći izradak može se umetati bez bojazni da će zapeti na strugotinu. Osim toga, skošenje (c) mnogo olakšava odvođenje strugotine. Stezni vijak (6) ne steže direktno, već preko stezala (7). Da bi se izradak mogao stegnuti prema podložnoj letvi (a), umetnut je mosni zatvarač okretno (7). Time je smjer stezanja usmjeren tako da stezalo pritiskuje izradak prema bočnoj i donjoj podlozi, kako pokazuje strelica. Rub (d) služi za učvršćenje naprave na stol stroja. Prema tablicama za tolerancije treba birati sva potrebna odstupanja.

Na kraju je potrebno riješiti pitanje materijala za izradu naprave i kako treba da izgleda osnovni oblik.

⑧ prikazuje konačan izgled izvedbe ako se tijelo (5) i dio za vođenje (1) izrade od postojećih oblikovanih dijelova. Tijelo naprave (5) može se također izraditi lijevanjem, zajedno s dijelom za vođenje (1) prema modelu ili se može zavariti od čeličnih dijelova. Način izrade, kako se vidi na ⑧, nakon zrelijeg razmišljanja izgleda jednostavniji i jeftiniji. Na taj način je sistematskim razmišljanjem nađeno optimalno rješenje.

29.4 KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI NAPRAVA

Zadatak elemenata, tj. detalja u gradnji naprava sastoji se prije svega u određivanju položaja i u stezanju. Kakvo značenje imaju određivanje položaja i stezanje za osiguranje izratka za vrijeme njegove obrade, proizlazi iz zahtjeva koji će se postaviti napravi, i to:

1 — obradivanje izratka mora biti točno;

2 — vrijeme obrade, osobito pripremno, mora se svesti na minimum.

Da bi se postigao taj cilj, treba da izradak bude u napravi pravilno postavljen i stegnut.

29.41 ELEMENTI ZA ODREĐIVANJE POLOŽAJA

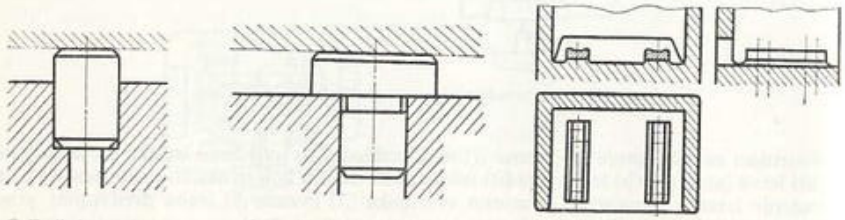
Elementi za određivanje položaja su oslonci i prislonci. To su elementi na koje se izradak u napravi oslanja i prislanja, a da pri tome njegov položaj u napravi još nije potpuno određen u svim smjerovima. Oni moraju u napravi dati izratku dobar i pravilan položaj. Oslonci moraju biti veoma otporni protiv trošenja; zbog toga se izrađuju od legiranih ili ugljikovih čelika za cementiranje. Moraju se toplinski obraditi i brusiti. Tvrd sloj treba da je dubok oko 0,8 do 1 mm, a tvrdoća mu mora iznositi 58 – 60 HRc. U napravi moraju oslonci biti tako ugrađeni da se lako mogu mijenjati ili da se mogu naknadno obrađivati.

Oslonce možemo podijeliti u dvije skupine:

1 — u čvrste i

2 — u podešljive

Jednostavni čvrsti oslonci izrađuju se prema ①, ②, ③.



① Zatik kao oslonac ② Svornjak kao oslonac ③ Naslone letve

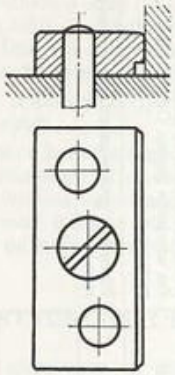
Tablica 1.

SMJERNICA ZA KONSTRUKCIJU NAPRAVA

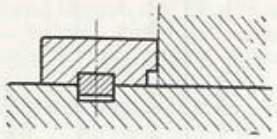
x - otpada

Izradak	Plan rada		Materijal		Broj komada godišnje	
③	Bušiti i razvrtavati 2 rupe 12 H7		Sl 18		500	
Operacije i faze	STVARNI ODNOS IZMEĐU NAPRAVE					
	izratka A	alata B	držala C	stroja D	mjerenja E	čovjeka F
1 Ulaganje izratka	da se lakše umetne predviđena podloga (a)	×	×	×	×	Može se slobodno umetnuti sa strane.
2 Određivanje položaja	oslanjanje na tri ravnine	izmjenljiva vitka u osnovnu	×	×	×	×
3 Oslanjanje	na letvu (a)	×	×	×	×	×
4 Stezanje	sa dvije strane izradak ne smije biti prestegnut	×	×	×	×	Dio 7 steže izradak preko dijela 3. Olakšano radniku.
5 Obradivanje	×	svrdlo 11,7⌀ razvrtala 12 ⌀ H7	brzoizmjenljiva vitka za bušenje	ili dvovretena bušilica	mjerni tren	×
6 Otpuštanje	×	×	×	×	×	Izreći brzo. Otpusti vijak 2 i 6 i okreni dio 3 ⑧
7 Vođenje	×	×	×	×	×	Može slobodno sa strane voditi izradak. Utor (b) omogućava vođenje izratka zbog srha pri bušenju.
8 Hlađenje	×	×	×	×	×	×
9 Odvođenje strugotine	×	udaljenost h - 0,5 d omogućava slobodno odvođenje strugotine	×	×	×	Može se odvoditi sa tri strane. Pri umetanju glatko. Odvođenje još pomoću c ⑧
10 Zaštita protiv nezgoda	×	×	×	×	×	Fiksiranje protiv zakretanja pomoću ruba d ⑧
11 Osiguranje protiv štete	zakaliti bočne i donje podloge ③	osigurati izmjenljivu vitku protiv okretanja i podizanja JUS KG3342	×	fiksiranje naprave	×	×
12 Utjecaj umora	×	×	×	×	×	×
13 Ekonomičnost (Broj komada tolerancije)	Uzeti u obzir osnovni proračun	×	×	×	×	×

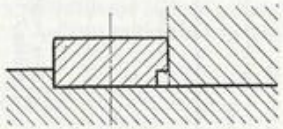
Kombinirani oslonci i prislonci u raznim izvedbama prikazani su na ④, ⑤ i ⑥. Ti su prislonci osigurani, kako se vidi na slici, prikladnim sredstvom protiv zakretanja jer pri prislonu mora postojati okomitost na izradak.



④ Prislon osiguran sa dva zatika

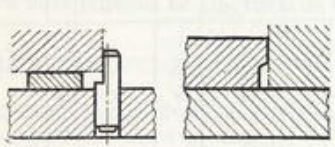


⑤ Prislon osiguran klinom

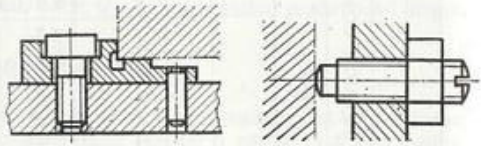


⑥ Prislon osiguran po potrebi

Kombinirani oslonci i prislonci prikazani su na ⑦, ⑧ i ⑨. Oni moraju biti u kutovima slobodni da se tu ne zadržavaju strugotine.

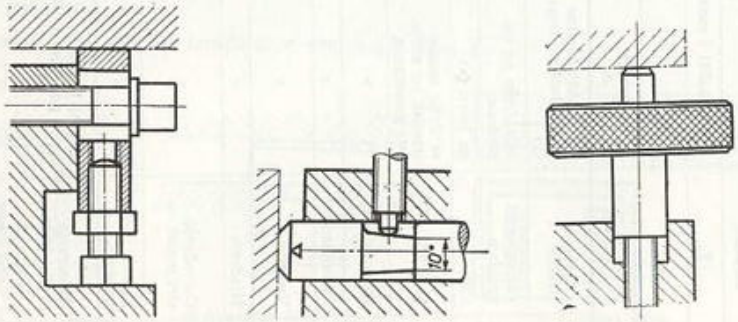


⑦, ⑧ i ⑨ Kombinirani oslonac i prislonac



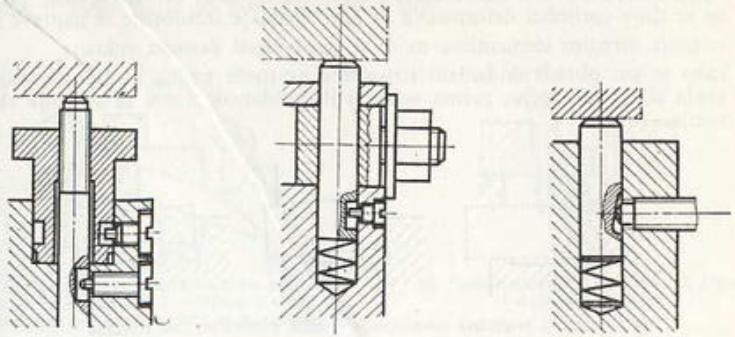
⑩ Podesljivi oslonac pomoću matice

Za grube neobradene površine obično se upotrebljavaju podešljivi oslonci. Takav izradak oslanja se samo na tri čvrste točke, a svaki daljnji oslonac mora biti podešljiv. Takvi se oslonci mogu kombinirati upotrebom standardnih dijelova. Na ⑩ i ⑪ prikazana su dva takva podešljiva oslonca.



⑩, ⑫ i ⑬ Podešljivi oslonac osiguran drugim vijkom

Na ⑫ do ⑯ prikazano je nekoliko izvedbi podešljivih oslonaca.

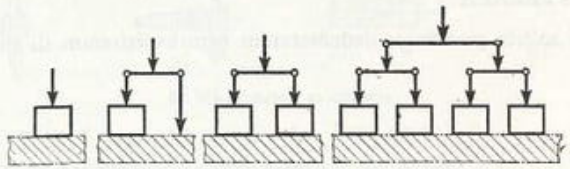


⑭, ⑮ i ⑯ Razne izvedbe podešljivih oslonaca

29.42 ELEMENTI ZA STEZANJE

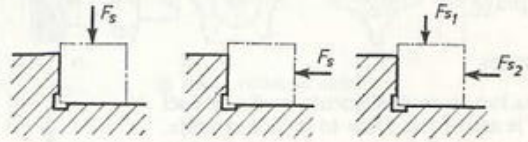
Stezanje ima svrhu da čvrsto spoji izradevinu s napravom kako bi se spriječilo eventualno pomicanje pod djelovanjem sile rezanja.

Načelo djelovanja sile stezanja, pri jednostranom stezanju, neposredno ili preko raspodjeljivača pritiska na jednu, dvije ili više izradevina prikazano je na ⑰.



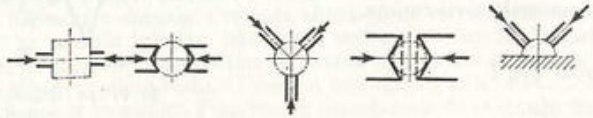
⑰ Jednostrano stezanje neposredno ili preko raspodjeljivača

Pri određivanju položaja izradevine u dva smjera može djelovanje sile stezanja biti usmjereno prema osloncu, prema prisloncu ili u oba s mjera, prema ⑱.



⑱ Prikaz djelovanja sile stezanja: – prema osloncu – prema prisloncu – u oba smjera

Centrično stezanje prema osi izradevina moguće je pomoću dviju ili više čeljusti ⑲.



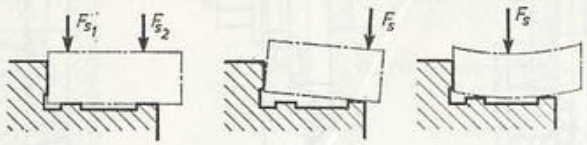
⑲ Razna stezanja prema centru

Pri konstruiranju steznih elemenata konstruktor naprava mora se pridržavati ovih uputa:

1 — sila stezanja mora uvijek djelovati nasuprot površini za određivanje položaja jer će se time spriječiti deformacija ili čak ispadanje izradevine iz naprave ⑳;

2 — stezanje steznim elementima mora se predvidjeti desnom rukom;

3 — kako se pri obradi skidanjem strugotine ne može uvijek postići da smjer djelovanja sila bude točno prema osloncu ili prisloncu, mora za stezanje služiti sila trenja.



⑳ Pravilno i pogrešno postavljanje izratka s obzirom na stezanje

Na stezanje se postavljaju ovi zahtjevi:

— sigurno stezanje
— malen broj steznih mjesta
— malen utrošak sile stezanja i
— kratki putovi stezanja i posluživanja.

29.43 RUČNA STEZALA

Stezanje silom mišića postiže se jednostavnim nemehaniziranim ili ručnim stezalima, i to pomoću:

1 — klina
2 — vijka
3 — ekscentra i
4 — stezne poluge.

Stezanje mehaniziranim stezalima postiže se složenim mehaniziranim stezalima, u kojima se mogu upotrijebiti jednostavni elementi te oni kombinirani s hidrauličkim, pneumatskim i nekim drugim sistemima.

Odabiranje izvora sile stezanja određuje konstruktor po uvjetima obrade pri konstruiranju stezne naprave.

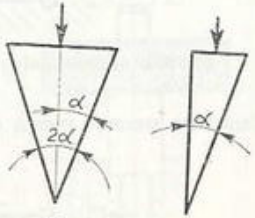
29.431 Klinaste stege

Pri upotrebi klina kao steznog elementa može se poći od spoznaje: što je manji kut klina to je jače stezanje.

Stezanje klinom primjenjuje se u konstrukciji naprava veoma mnogo u prvom redu zbog toga što je stezanje na načelu klina samokočno, a drugo, osim toga što se klin upotrebljava kao ručni element on može biti kombiniran i sa sistemima od plastične mase, hidrauličkim ili pneumatskim sistemima.

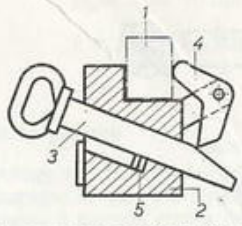
Klinovi su dvojaki:

1 — jednostruki ㉑b i
2 — dvostruki ㉑a.

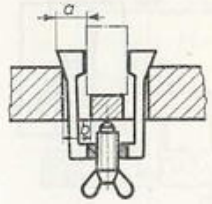


㉑ Prikaz klinova (a — dvostruki b — jednostruki)

Na ㉒ prikazana je konstrukcija naprave gdje se stezanje izvodi jednostranim klinom. Na ㉓ prikazana je konstrukcija stezne naprave s dvostrukim klinom, gdje je dodan vijak kao pomoćni element da se postignu stezne sile.



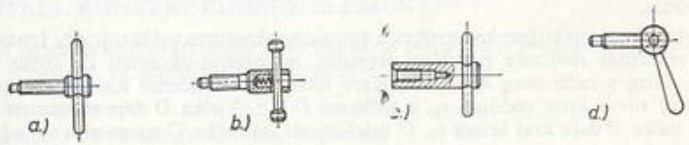
㉒ Stezna naprava s jednostrukim ručnim klinom (1 — izradak, 2 — tijelo, 3 — klin, 4 — stezna poluga, 5 — zatik za osiguranje)



㉓ Stezna naprava s dvostrukim klinom i dodatnim vijkom

29.432 Vijčane stege

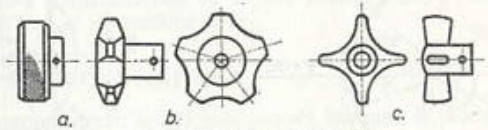
Ta vrsta stege veoma je raširena u konstrukciji naprava. Djeluje sigurno i jednostavno. Umjesto običnih vijaka možemo upotrijebiti vijke i matice s ručicama prema ㉔.



㉔ Vijci i matice za stezanje

Ručice za stezanje najobičnije izvedbe prikazane su na ㉕.

Kao visina navoja uzima se $M = 1{,}5\,d$, gdje je d promjer svornjaka.

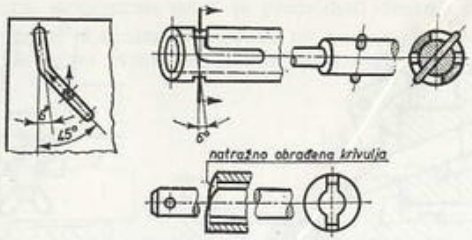


㉕ Razne ručice za stezanje

29.433 Stezne krivulje i ekscentri

Stezne krivulje i ekscentri veoma su povoljni jer brzo stežu, ali im je hod pri stezanju veoma malen. Izvedba neke krivulje određuje se prema potrebnom hodu stezanja. Na ㉖ prikazan je primjer takve krivulje. Njen kut mora biti najviše 6° ako želimo zadržati samokočnost. Otvaranje steznog elementa slijedi samo okretanjem, što se može postići kutom od 45° za posmik krivulje. Ako je kut veći od 45°, bit će sila na početku prevelika. Ekscentri su prema svojem načinu djelovanja također stezne krivulje; oni proizvode veliku steznu silu pri malom hodu. U svakom položaju moraju biti samokočni i ne smiju ni uz najmanji potres popustiti. Potrebno je napomenuti da je izrada ekscentara skuplja

od izrade klina i vijka. Zbog toga se preporučuje da se upotrebljavaju u masovnoj proizvodnji, gdje je važnija ušteda na radnom vremenu. Izraduju se od čelika za cementiranje, a obično se kale na tvrdoću 48 do 50 HRc.



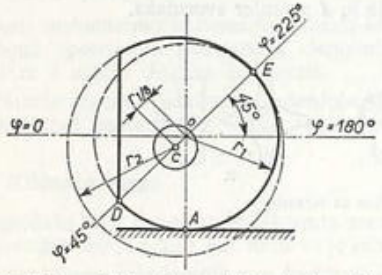
㉘ Nekoliko izvedbi krivulja za stezanje

U praksi se upotrebljavaju dvije osnovne izvedbe:

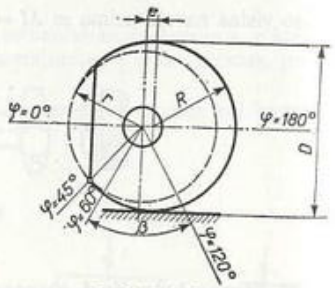
1 — spiralne i
2 — kružne.

Osnovne krivulje za spiralne ekscentre jesu logaritamska i Arhimedova spirala. Teoretski je najbolji oblik ekscentarske krivulje logaritamska spirala, ali ju je prilično teško izraditi pa se zbog toga više upotrebljava Arhimedova spirala ili za praksu pojednostavnjena spirala.

Pojednostavnjenu približnu konstrukciju spiralnog ekscentra prikazuje ㉗. Iznad točke A, u kojoj ekscentar dodiruje površinu stezanja, povučemo okomicu do točke O. Iz nje nacrtamo krug s radijusom $r_1 = AO$. Kroz točku O povučemo kos pravac pod kutom od 45°, koji siječe krug radijusa r_1, u točkama D i E. Točka D daje ekscentru spljošteni dio, dok točka E daje kraj kruga r_1. U udaljenosti od točke O nanesemo vrijednost $r_1/8$ i dobijemo točku C. Iz točke C, a od točke E s radijusom $r_2 = r_1 + \frac{r_1}{8}$ opišemo novi krug, koji daje centar ekscentra C i završetak ekscentra. Za stezanje vrijedi krivulja DAE, a kao rezervu uzimamo dio hoda $D-A$ i rezervu na kraju nešto prije točke E.



㉗ Praktična približna konstrukcija spiralnog ekscentra



㉙ Kružni ekscentar

Dosta kompliciranu izradu spiralnog ekscentra izbjegavamo upotrebom kružnog ekscentra. Kod njega je čitava površina u obliku okrugle ploče s ekscentricitetom e. Kružni ekscentar steže samo do kuta $\varphi = 180°$, a iznad tog kuta opet se otvara. Karakterističan odnos je R/e. Ako je on veći od 10, ekscentar je samokočan, i to u svim položajima kuta do $\varphi = 180°$.

㉘ prikazuje konstrukciju kružnog ekscentra. Ako je odnos $R/e < 10$, onda se može kod manjih kutova sam otvoriti, ali je pri istom polumjeru R hod veći.

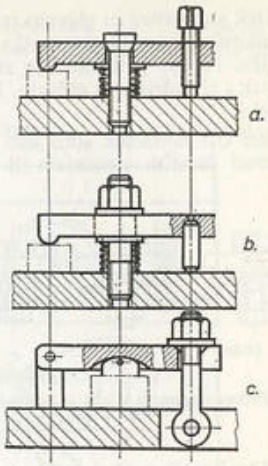
Konstruktivni oblici ekscentra mogu biti različiti. Izvode se kao tlačni i natezni. Ekscentri su standardizirani u granicama

$$D_1 = 32 - 70 \text{ mm},$$
$$e = 1{,}7 - 3{,}5 \text{ mm}.$$

29.434 Stezna poluga

Stezne poluge su elementi koji služe za stezanje izratka u napravi ili na stroju alatnog stroja. Zbog lakšeg rukovanja u napravi stezna poluga obično ima vođenje. Kretanje je ograničeno.

Da bi se izradak mogao lagano postaviti u napravu, potrebno je da se stezna poluga može povući unatrag ili okretati, kako je prikazano na ㉙b i c. Na slici b je rupa za centralni vijak produljena, a opruga koja pridržava polugu oslanja se na podložnu pločicu da ne bi zaglavila u udubljenju rupe.



㉙ Prikaz triju osnovnih izvedbi steznih poluga

29.44 OSTALI KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI

Da bi se mogle konstruirati razne vrste naprava, potrebno je još poznavati neke elemente koji su specifični za pojedine stezne naprave. To su:

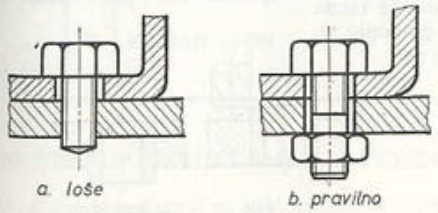
1 — diobeni elementi
2 — elementi za fiksiranje diobene naprave
3 — vodice za vođenje reznog alata
4 — mjerila za podešavanje i namještanje reznog alata
5 — utorni kameni
6 — kućišta ili tijela naprave
7 — noge, zatvarači, izbacivači itd.

Neki od tih dijelova standardizirani su u JUS standardima, a većina ostalih u ruskim standardima GOST i u njemačkim DIN.

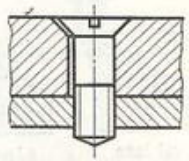
29.45 SASTAVNI DIJELOVI NAPRAVE

Limeni dijelovi naprave režu se po mogućnosti škarama ili autogeno.

Na ㉚ je prikazan loše i dobro spojeni dio. U slučaju a potrebno je u komadu rezati navoj, u slučaju b potrebno je izbušiti samo provrt.



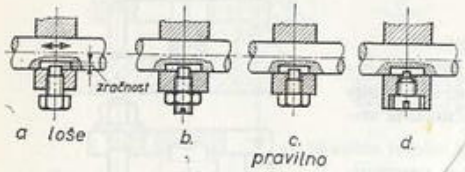
㉚ Spojevi pomoću vijaka



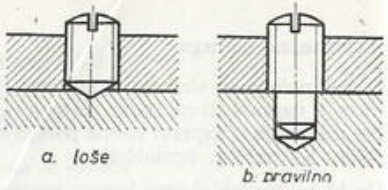
㉛ Nepravilno upotrebljen upušteni vijak

Vijak s upuštenom glavom traži da se obje simetrale, tj. vijak i izbušene rupe strogo podudaraju jer inače glava vijka prilegne samo jednostrano i zbog toga predstoji deformacija vijka. Na 31 prikazano je zastranjenje vijka. U tom bi slučaju bilo bolje upotrijebiti vijak s cilindričnom glavom. Iznad M 12 uzima se kod upuštenih vijaka prikladan imbus-vijak.

Vijci čiji završetak služi kao vođenje te zbog toga moraju imati zračnost moraju se osigurati čvrstim stezanjem ili stezanjem protumaticom, prema pravilnoj izvedbi na 32.



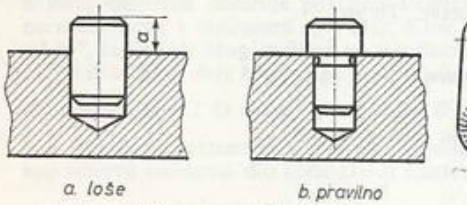
32 Prikaz stegnutih vijaka za vođenje (a, b, c — loše, d — pravilno)



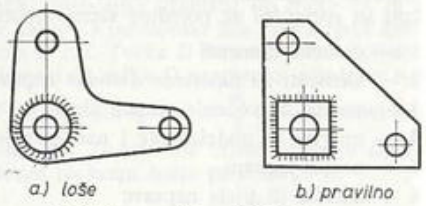
33 Prikaz vijka za prijenos sile

Vijčani zatik s oštrim vrhom 33a lako olabavi pa prenošenje sile nije sigurno. On može uopće prenositi samo razmjerno male sile. Zbog toga je bolje upotrijebiti vijčani zatik, prema 33b koji još i uz malu labavost sigurno prenosi sile.

Kod glatkih zatika je mjera 34a ovisna o dubini rupe. Ako se zatik upotrebljava kao podloga, točnost se neće postići. Treba zatik nasloniti na rub i u tom slučaju točnost neće ovisiti o dubini rupe.



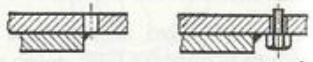
34 Prikaz postavljanja zatika



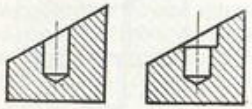
35 Prikaz raznih izvedbi detalja

35a prikazuje izrađeni dio, koji je za upotrebu u konstrukciji naprava prilično skup. Jeftinija izvedba prikazana je na 35b. Osim toga, zbog jeftinoće, je uvijek poželjno izbjegavati zaobljene forme. Provrt za vijak mora biti probušen tako da bude dovoljno mjesta za glavu vijka i za ključ kojim se steže. Treba paziti da rupa ne bude probušena preblizu vara jer u tom slučaju može svrdlo pri bušenju lako puknuti. 36 prikazuje takve slučajeve.

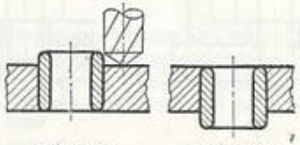
Na 37 prikazano je kako treba bušiti rupu na kosoj površini. Treba uvijek poravnati da se dobije ravna površina kako svrdlo ne bi zastranilo i polomilo se.



36 Prikaz loše i dobro bušene rupe



37 Bušenje rupa na kosoj površini



38 Umetanje vitki u tanju ploču

Često se pri umetanju vitki za bušenje kod tanjih bušnih ploča višak vitke ostavlja na gornjoj strani. To je potpuno pogrešno jer se na tom prstenu može pri pomicanju svrdlo veoma lako polomiti.

Standardni elementi steznih naprava Tablica 1.

R.Br.	Naziv	Standard	Skica
1	Nareckane podložne pločice s izrezom	JUS K. G3. 070 1956	
2	Kukaste podložne pločice	JUS K. G3. 072 1957.	
3	Krilasti vijci za naprave	JUS K. G3. 100 1956 DIN 6301 1940.	
4	Nareckani vijci za naprave	JUS K. G3 105 1956 DIN 6308 1940	
5	Vijci s ručicom za naprave	JUS K. G3. 110 1956 DIN 6308 1940	
6	Vijci s čvrstom polugom za naprave	JUS K. G3. 115 DIN 6304 1957	
7	Vijci sa slobodnom polugom za naprave	JUS K. G3. 120 DIN 6306 1940	
8	Vijci s pločicama za naprave	JUS K. G3. 125 DIN 6309 1954	
9	Viličasti vijci	JUS K. G3. 130 1957.	

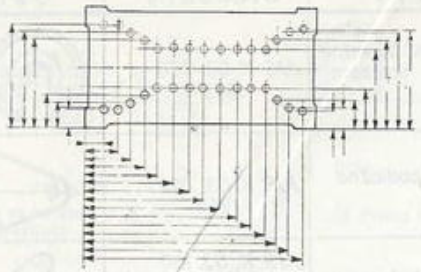
29.46 STANDARDNI ELEMENTI STEZNIH NAPRAVA

U tablici 1. prikazani su neki standardni elementi koji se upotrebljavaju pri oblikovanju steznih naprava.

29.47 KOTIRANJE NAPRAVA

Konstruktor daje kotiranjem tehnologu i radniku upute o tome kojim putem treba da se izvrši obrada i što je važno na samom izratku. Kotiranje mora biti izvedeno tako da radnik pomoću kota izvrši obradu brzo, jednostavno, točno i ekonomično.

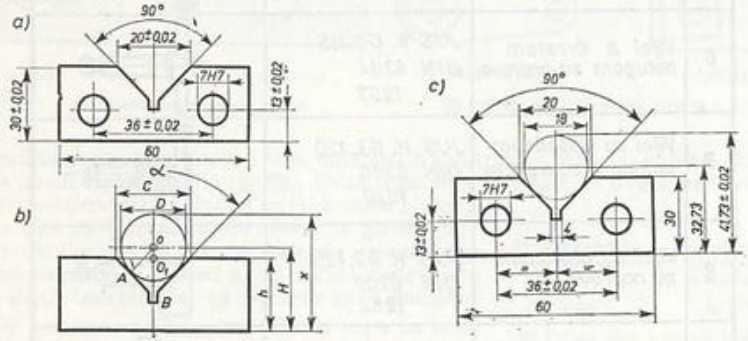
Za bušenje neke bušne ploče s mnogo rupa najbolji način kotiranja paralelnim kotama je onaj na načelu koordinatnog sistema ㊴.



㊴ Kotiranje po principu koordinatnog sistema

Ako želimo obraditi neku prizmu, potrebno je kotirati tako da radnik može lagano izbrusiti, a kontrolor izmjeriti. Često konstruktor treba da neke kote dobije i kontrolira računskim putem.

Na ㊵a nacrtana je prizma koja nije dobro kotirana; kote 30 i 20 bez potrebe su tolerirane, a to poskupljuje proizvod. Osim toga, kotu $20 \pm 0{,}02$ nije moguće ni mjeriti. Zbog toga konstruktor mora postupiti i kotirati kako je prikazano na ㊵b. U kontroli treba odabrati jedan okrugao trn koji svojim izvodnicama leži u utorima prizme te izračunati veličine x i H.



㊵ Kotiranje i proračun prizme

Mjera C na ㊵b služi za ucrtavanje i glavnu obradu prizme, a mjera H i x za konačnu kontrolu. Za proračun razmaka imamo:

$$H - h = \frac{D}{2 \sin(\alpha/2)} - \frac{C}{2 \operatorname{tg}(\alpha/2)}$$

$$H = h + 0{,}5 \frac{D}{\sin(\alpha/2)} - 0{,}5 \frac{C}{\operatorname{tg}(\alpha/2)}$$

za $\alpha = 90°$, $H = h + 0{,}707\,D - 0{,}5\,C$ ili

$$x = \frac{D}{2} + h + 0{,}707\,D - 0{,}5\,C$$

za $\alpha = 120°$, $H = h + 0{,}578\,D - 0{,}298\,C$ ili

$$x = \frac{D}{2} + h + 0{,}578\,D - 0{,}298\,C$$

Kod pravilno kotirane prizme za $\alpha = 90°$ imamo:

$$H = 30 + 0{,}707 \cdot 18 - 0{,}5 \cdot 20 = 32{,}73$$

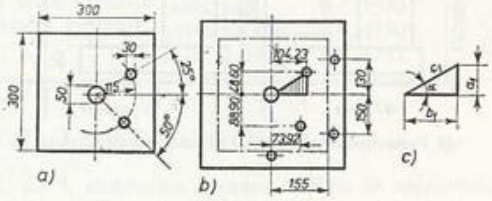
$$x = H + \frac{D}{2} = 32{,}73 + 9 = 41{,}73$$

prikazana je na ㊵c.

Kote za rupe koje će se bušiti šablonom ili napravama pomoću vitki i kote koje određuju položaj pomoću prislonaca ili naslona unose se samo u pravokutni koordinatni sistem, pa i onda kad je izradak kotiran lučnim mjerama pomoću kutova.

Na ㊶a prikazan je izradak a.

a = izradak, b = šablona s izratkom, c = pomoćni pravokutni trokut



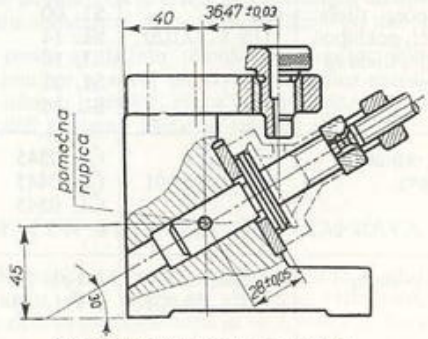
㊶ Računanje i kotiranje pomoću pravokutnog trokuta

$$a_1 = c_1 \sin\alpha = 115 \cdot 0{,}423 = 48{,}60$$

$$b_1 = c_1 \cos\alpha = 115 \cdot 0{,}91 = 104{,}23$$

Ostale kote izračunate su na isti način.

Izradak na ㊷ potrebno je bušiti u napravi pod kutom od 30° na udaljenosti od $14 \pm 0{,}1$ mm. Za taj slučaj konstruktor će konstruirati napravu prikazanu na ㊷. Da bismo mo-



㊷ Konstrukcija naprave s izratkom

gli izbušiti potrebnu rupu, uzet ćemo na napravi proizvoljnu udaljenost $28 \pm 0{,}05$ mm za osiguranje steznog vijka. Kako iz trokuta znamo kolika je hipotenuza c, možemo izračunati udaljenost

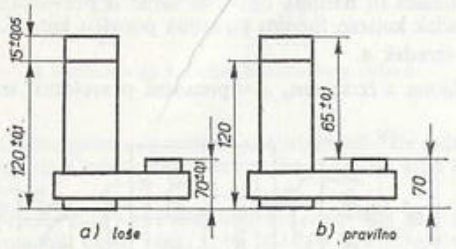
$$c = 28 + 14 = 42$$

$$y = c \cdot \cos \alpha = 42 \cos 30°$$

$$= 42 \cdot 0{,}866 = 36{,}47.$$

Mjere koje konstruktor propisuje ne mogu se postići s apsolutnom tačnošću. Zbog toga je potrebno odrediti tolerancije kod naprava.

U konstrukciji naprava upotrebljavamo sustav zajedničkog provrta i kvalitetu točnosti IT 6, IT 7, IT 8 i dalje. Na temelju toga uzima se za provrt tolerancija H 7, a za odgovarajuće trnove od f 6 do s 6. Na ㊸ prikazano je kako kod proizvoda koji se sastoje od više dijelova toleranciju treba postavljati samo na dosjedne plohe.



㊸ Postavljanje tolerancija kod sastavljenih dijelova

29.48 MATERIJAL ZA IZRADU NAPRAVA

Za gradnju naprava uglavnom se upotrebljavaju lijevano željezo i čelik.

Vrste ljevanog željeza za naprave Tablica 2.

Redni broj	Nazivi dijelova naprave	Vrste materijala		Primjedba
		Standard	Oznaka	
1.	Temeljne ploče, tijela, okviri, ormarići, poklopci, letve za vođenje, tijela za ležaje, podloge	sivi liv JUS C.J2.020	SL 00 SL 14 SL 18 SL 22 SL 26	Samo za dijelove bez opterećenja na savijanje i vlak
2.	Tijela, okviri, ormarići, poklopci, klinovi	čelični liv JUS C.J3.001	ČL 0345 ČL 0445 ČL 0545	Samo za dijelove s ublaženim opterećenjem na savijanje i vlak
3.	Okviri, stezne poluge, ručne poluge	kovkasti liv JUS C.J2.021	BTeL 35 BTeL 38	Samo za tanke dijelove koji treba da budu žilavi

Vrste čelika za naprave Tablica 3.

Redni broj	Nazivi dijelova naprave	Vrste materijala		Primjedba
		Standard	Oznaka	
1.	Okviri, ormarići, poklopci, stezni most, stezne poluge, varena tijela naprava, vijci, vodeći stupovi, matice, zatici, klinovi, podložne pločice, letve	valjani i vučeni konstrukcijski čelik JUS C.B0.500	Č.0000 Č.0210 Č.0300 Č.0345 Č.0400	Profilna i pločasta željeza za vučene i valjane komade; za zavarene dijelove
2.	Ekscentri, prizme, stezne čahure, noge		Č.0400 Č.0545 Č.0645 Č.0745	Za visokoopterećene dijelove na vlak i savijanje gdje je potrebna velika žilavost
3.	Klizni kameni, prizme, bregovi, krivulje, diobene ploče, fiksatori, stezne čeljusti, bušne vitke šablone, stezni vijci, nasloni zatici	čelik za cementiranje JUS C.B9.020 čelici za poboljšavanje JUS C.B9.021	Č.1220 Č.1330 Č.1430 Č.1530 Č.4730 Č.4731	Za dijelove koje je potrebno kaliti; mogu se variti samo Č.1220 i Č.1330

29.49 KONSTRUKCIJA I ISPITIVANJE NAPRAVE

Nakon skiciranja 2. do 3. alternative naprava odabire se najpovoljnija, koja uglavnom udovoljava svim uvjetima. Tek sada odabranu koncepciju treba obraditi.

Prije svega se nacrta izradak u tri projekcije, dovoljno razmaknuto, obično M 1 : 1, tako da bude mjesta za ucrtavanje sastavnih dijelova naprave. Izradak se crta crvenim tušem, crtom crtica-točka-crtica kako je predvideno da se obrađuje reznim alatom. Tek sada počinje ucrtavanje važnijih elemenata, npr. kod naprave za bušenje unose se elementi za vođenje svrdla, a zatim se nadograđuju sistematskim redom svi ostali elementi koji su bili predvideni ručnom skicom. Nakon tih radova slijedi povezivanje svih elemenata s kućištem i konstruiranje sastavnog crteža u cjelini (vidi 29.3-⑧). Sve pozicije označuju se brojkama od 1 dalje.

Sastavnica se mora tako popuniti da se u nju najprije unesu dijelovi koje treba obradivati, a na njih se nadovezuju standardni dijelovi po obliku i po dimenzijama.

Pošto se konstrukcija preda na daljnju obradu konstruktor mora pratiti njezin put do svršetka. Prvi izradak izraden u novoj napravi konstruktor mora temeljito ispitati i sve eventualne nedostatke odmah ispraviti. Nova naprava mora u proizvodnji besprijekorno funkcionirati i proizvoditi potpuno ispravne izratke.

29.5 OSNOVNI PRORAČUN STEZANJA KOD NAPRAVA

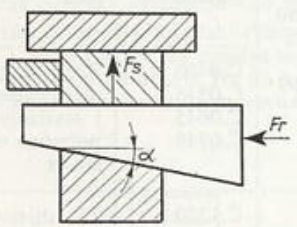
Sile stezanja mogu biti raznolike, a ovisne su o sili rezanja, o sili trenja i o okretnim momentima koje one stvaraju. Radi sigurnosti dobivene vrijednosti za sile rezanja i momente treba uvećati koeficijentom sigurnosti $m = 1{,}5 - 2{,}5$. Za veće radove treba uzeti veće vrijednosti.

29.51 SILA STEZANJA KOD KLINOVA

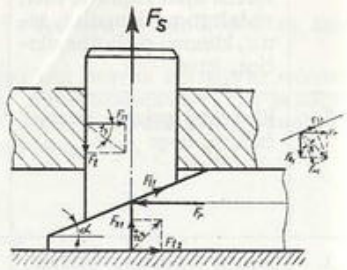
Pri stezanju možemo upotrebljavati klinove u raznim izvedbama.

Na ① prikazan je klin koji direktno steže izradak, a stezna sila će biti:

$$F_s = \frac{F_r}{\operatorname{tg}(\alpha + 2\varphi)}$$



① Stezanje pomoću klina direktno na izradak



② Indirektno stezanje preko klipa

Na ② prikazan je klin koji indirektno preko klipa steže izradak, a stezna sila će biti:

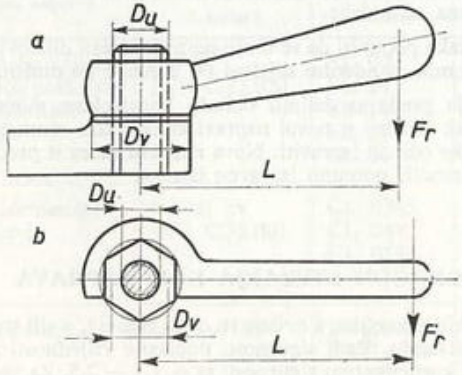
$$F_s = \frac{F_r}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg}\varphi_2}\,[1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)\operatorname{tg}\varphi_3]$$

29.52 SILE STEZANJA KOD VIJAKA

Vijci za stezanje upotrebljavaju se u raznim izvedbama.

Na ③a i b prikazana su dva načina stezanja, ali oni imaju istu formulu:

$$F_s = \frac{F_r}{r_m \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + 0{,}32\,\mu\left(\dfrac{D_u^3 - D_v^3}{D_u^2 - D_v^2}\right)}$$



③ Stezanje: a – ručkom, b – maticom i ključem

gdje je:

D_u = unutarnji dodirni promjer

D_v = vanjski promjer.

Kod vijaka imamo nekoliko oblika završetaka ili steznih površina ④.

Sila stezanja na čelnoj površini tlačnog dijela vijka ovisi o njegovu obliku i dodirnoj površini za vrijeme stezanja.

Za vijak prema ④a je sila stezanja:

$$F_s = \frac{F_r}{r_m \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + 0{,}33\,\mu\left(\dfrac{D_u^3 - D_v^3}{D_u^2 - D_v^2}\right)}$$

Za oblik prema ④b:

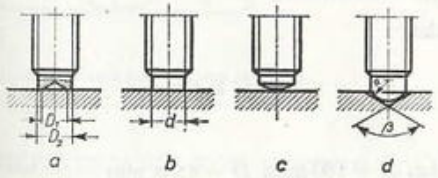
$$F_s = \frac{F_r}{r_m \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + 0{,}33\,\mu \cdot d}$$

Za oblik prema ④c:

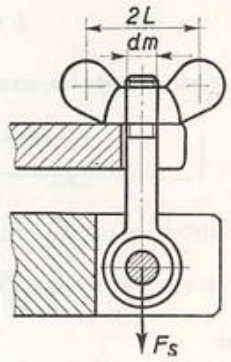
$$F_s = \frac{F_r}{r_m \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}$$

Za oblik prema ④d:

$$F_s = \frac{F_r}{r_m \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + R\mu \operatorname{cotg}\beta/2}$$



④ Stezne površine pri raznim oblicima vijaka



⑤ Stezanje vijka krilnom maticom

Za krilni vijak ⑤ je:

$$F_s = \frac{F_r}{r_m \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + 0{,}33\,\mu\dfrac{D_u^3 - D_v^3}{D_u^2 - D_v^2}}$$

29.53 SILA STEZANJA KOD EKSCENTRA

U praksi vrlo često upotrebljavamo spiralne ekscentre, koji imaju samo djelomično na obodu spiralu pa su im zbog toga u području radne površine jednaka stezna svojstva.

29.531 Sila stezanja kod spiralnog ekscentra

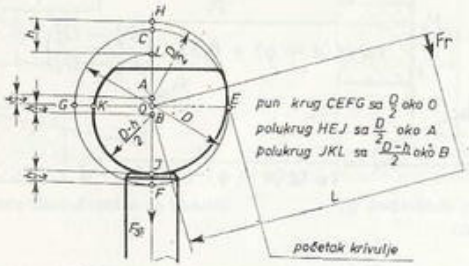
Na ⑥ prikazana je vrlo praktična izvedba spiralnog ekscentra, koja se može izvesti natražnim tokarenjem.

Uspon h spirale može se izračunati iz formule:

$$h = D \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\alpha \cong 4°$$

$$h = 0{,}22 \cdot D$$



⑥ Natražno tokareni spiralni ekscentar

Sila stezanja može se izračunati pomoću formule:

$$F_s = \frac{F_r \cdot 2L}{D} \cdot \operatorname{cotg} \alpha \eta = \frac{7 \cdot F_r \cdot R}{D}$$

$\eta = 0{,}25$ iskoristivosti

Iskoristivost se može izračunati ovako:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} (\alpha + 2\rho)} \qquad \rho = 6° \text{ kut trenja}$$

Primjer

Zadano je $F_r = 10$ kg, $L = 160$ mm, $D = 45$ ⌀ mm

$$F_s = \frac{7 \cdot 10 \cdot 16}{4{,}5} = 248 \text{ kg}$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} 4°}{\operatorname{tg} 4° + 2{,}6°} = \frac{0{,}07}{0 \cdot 28} = 0{,}25$$

29.532 Sila stezanja kružnog ekscentra

Na ⑦ nacrtan je kružni ekscentar u položaju početka stezanja:

$$R_1 = \frac{0{,}5 \cdot D + e \sin \beta}{\cos \alpha}$$

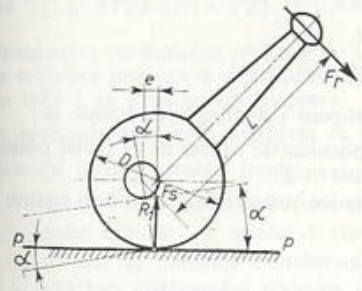
$$\beta = 75°$$

$$F_s = \frac{F_r \cdot L}{[\operatorname{tg} (\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi_2] R_1}$$

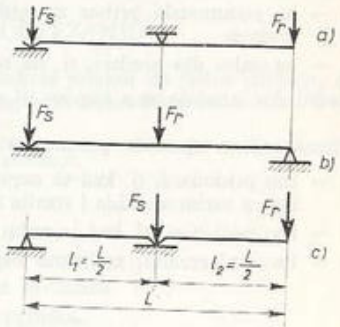
U tablici 1. dane su vrijednosti za konstrukciju kružnog ekscentra i veličina sile stezanja

Veličina sile stezanja Tablica 1.

Dimenzije ekscentra			Sile stezanja
Promjer D	Duljina ručke L	Ekscentricitet e	F_s
40	75	2	190
50	90	2,5	184
60	130	3	220
65	90	3,5	140
80	130	5	160
100	150	6	150



⑦ Sila stezanja pri kružnom ekscentru



⑧ Shema proračuna steznih poluga

29.54 SILE STEZANJA KOD STEZNIH POLUGA

Na ⑧ nacrtane su sheme triju osnovnih izvedbi steznih poluga prema 29.4–29. Bez učešća trenja u zglobu, može se izraziti sila stezanja za a):

$$F_s = \frac{F_r \cdot l_1}{l_1 + l_2} = \frac{F_r}{2}$$

ako je $l_1 = l_2$;

za b)

$$F_s = \frac{F_r \cdot l_1}{l_2} = F_r$$

za ⑧c

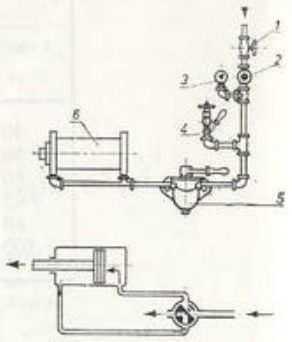
$$F_s = \frac{F_r (l_1 + l_2)}{l_2} = 2 F_r$$

29.55 SILE STEZANJA PRI STEZANJU ZRAKOM

Naprave sa zračnim stezanjem sve se više upotrebljavaju u industriji. Pri raznim pomoćnim operacijama mogu se pomoćna vremena znatno smanjiti. Umor radnika koji se stvara rukovanjem običnom napravom može se gotovo potpuno isključiti.

Na ⑨ prikazan je shematski uređaj za pneumatsko stezanje, a sastoji se od ovih dijelova:

1 — ventila za regulaciju dovoda zraka
2 — redukcionog ventila
3 — manometra
4 — pneumaza, tj. sredstva za podmazivanje
5 — razvodnog ventila
6 — radnog cilindra i
7 — mreže za komprimirani zrak.



⑨ Shematski prikaz uređaja za zračno stezanje

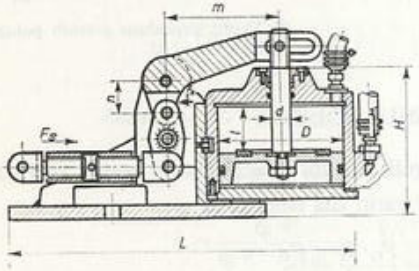
Ukratko, zračni uređaj može se podijeliti:

1 — na mrežu za komprimirani zrak
2 — na pneumatski pribor za opskrbu naprave zrakom
3 — na radni dio uređaja, tj. na radni cilindar.

Radni dio izrađuje se s klipom ili s dijafragmom.

Prema načinu upotrebe pneumatski uređaji s klipom i dijafragmom izvode se:

1 — kao pridodani, tj. kad se napravi dodaje pneumatski uređaj da se izvrši potreban rad, a zatim se skida i stavlja na drugu napravu ⑩;
2 — kao nedjeljivi, tj. kad je radni cilindar ugrađen u napravu pa oni čine cjelinu ⑪;
3 — kao univerzalni, za razne naprave.



⑩ Cilindar pridodan napravi

⑪ Cilindar nedjeljiv od naprave

Na temelju dovođenja komprimiranog zraka možemo radni uređaj podijeliti na cilindre s dvoradnim i na one s jednoradnim djelovanjem. Pri dvoradnom zrak izvodi i radni i povratni hod, a pri jednoradnom opruga vraća klip. Na ⑫a i b prikazane su obje izvedbe.

Proračun sila stezanja izvodi se prema poznatim zakonima. Kod cilindra dvostrukog djelovanja za stranu bez poluge imamo:

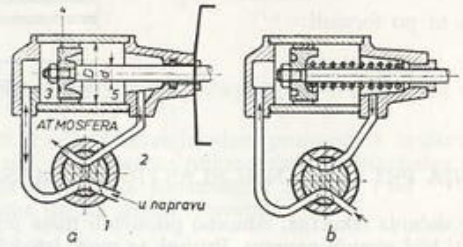
$$F_s = 0{,}785\, D^2 \cdot p \cdot \eta$$

Za stranu koja ima polugu:

$$F_s = 0{,}785\, (D^2 - d^2)\; p \cdot \eta.$$

Kod cilindara jednostrukog djelovanja sila na poluzi bit će:

$$F_s = 0{,}785 \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta - F_t$$



⑫ Shematski prikaz rada cilindra: a — dvoradni, b — jednoradni

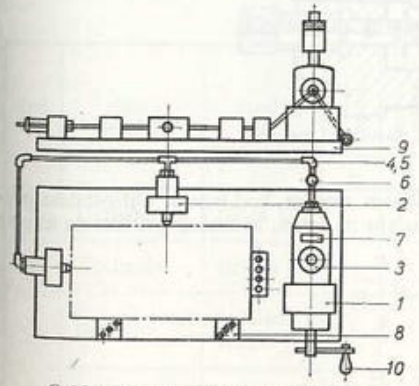
29.56 SILE STEZANJA PRI HIDRAULIČKOM STEZANJU

Primjenom visokotlačne tekućine — ulja — pritisak se prenosi na radne cilindre, gdje se tekućina pretvara u mehaničku silu. Ta sila može se upotrebljavati u razne svrhe, pa tako i za stezanje kod naprava.

⑬ prikazuje napravu s uređajem za hidrauličko stezanje.

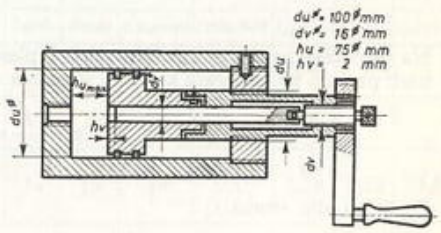
Osnovni dijelovi uređaja jesu:

1 — davalac visokotlačne tekućine, tj. pumpa
2 — radni cilindar, tj. stezalo s čepom
3 — cilindar za punjenje i održavanje i stvaranje predtlaka
4 — ulje kao visokotlačna tekućina i prenosilac pritiska
5 — cjevovodi, 6. — tlačni ventil, 7 — manometar, 8 — razni graničnici, 9 — temeljna ploča, 10 — ručica.



⑬ Naprava s uređajem za hidrauličko stezanje

Glavni dijelovi uređaja jesu pumpa i radni, tj. stezni cilindar. Na ⑭ vidimo shematski prikaz vijčane dvostepene pumpe na ručni pogon. Sastoji se od dva međusobno pomična klipa; veći za niskotlačni, a manji za visokotlačni stupanj. Na početku oba klipa



⑭ Shematski prikaz dvostepene vijčane pumpe na ručni pogon

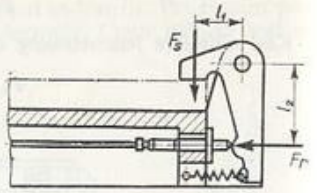
djeluju zajedno, stvarajući povećani pritisak od 15 do 20 bara. Manji klip stvara visok pritisak do koiih 400 bara.

Drugi glavni dio je radni cilindar, u koji dolazi tekućina pod pritiskom i ona djeluje na stezni čep.

⑮ prikazuje radni cilindar sa steznim čepom i polugom za stezanje izratka. Taj uređaj je ugrađen u tijelo stezne naprave.

Sila stezanja računa se po formuli:

$$F_s = p \cdot \frac{\pi d_1^2 - \pi d_2^2}{4}$$



⑮ Radni cilindar s čepom i polugom za stezanje izratka

29.57 SILE STEZANJA PRI STEZANJU PLASTIČNIM MASAMA

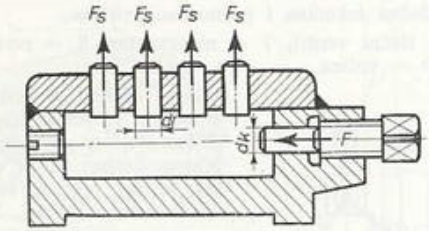
Načelo hidrauličnog tlačenja tekućina, odnosno plastičnih masa potrebne žitkosti može se također primijeniti kod steznih naprava. Pritisak se može istodobno prenositi na više raznih mjesta.

Naprava se sastoji uglavnom od steznog dijela, tj. od klipova koji djeluju na izradak te kanala u kojem se nalazi sredstvo za prijenos pritiska. Pritisak na sredstvo obično se izvodi vijkom. Plastična masa mora imati ova svojstva:

1 — ne smije prodirati kroz zračnost obradenih dijelova;
2 — mora jednakomjerno i bez većih gubitaka prenositi pritisak.

Zbog toga je osnovno za konstrukciju:

1 — vijak koji stvara pritisak mora imati fin dosjed;
2 — klipovi i provrt moraju se izraditi u tolerancijama H7/g6;
3 — prije punjenja masa mora biti ugrijana u uljnoj kupki na 150°—160°C tako da kanali budu potpuno ispunjeni.



⑯ Višestezna naprava s plastičnom masom

Na ⑯ prikazana je višestezna naprava s plastičnom masom, kod koje se hidrostatski pritisak prenosi na veći broj klipova; u našem slučaju na četiri. Proračun pritiska na klipu:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{d_k^2 \cdot \pi}{4}}$$

Proračun sile stezanja:

$$F_s = p \cdot \frac{\pi \cdot d_t^2}{4}$$

Proračun hoda tlačnog klipa (h) i steznog klipa (s) odnose se obrnuto od odgovarajuće površine klipova:

$$\frac{h}{s} = \frac{A_r}{A_k} \qquad h = \frac{A_r \cdot s}{A_k},$$

a za n radnih klipova:

$$h = \frac{A_r \cdot s \cdot n}{A_k}$$

29.6 ANALIZA EKONOMIČNOSTI NAPRAVA

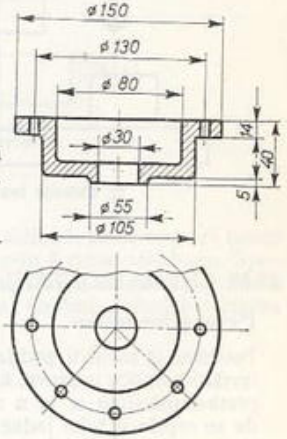
Dijagramom na 29.31 - ② prikazan je odnos proizvodnih troškova obrade nekog izratka s napravom i bez nje. Zbog jasnoće prikazat ćemo u slijedećim poglavljima kako ćemo dobiti najpovoljnija rješenja za konstrukciju naprave i od kojeg se broja izratka isplati graditi napravu.

29.61 CIJENA KOŠTANJA IZRATKA OBRAĐENOG BEZ NAPRAVE

Na ležajnom poklopcu ① težine 2 kp treba izbušiti 8 rupa 13 ⌀. Tako malen broj izradaka bušit ćemo bez naprave. U tablici 1. dani su podaci za obradu.

Sva vremena, dodavši dodatno vrijeme na pripremno i komadno od 10%, daju ovaj zbroj:

glavno vrijeme	t_g =	6,580
sporedno vrijeme	t_s =	2,500
pripremno vrijeme po komadu	t_p =	2,400
ukupno komadno vrijeme		= 11,480
dodatno vrijeme 10%	t_d =	1,148
		12,628 ~ 13 min



① Ležajni poklopac

Podaci za obradu ležajnog poklopca Tablica 1.

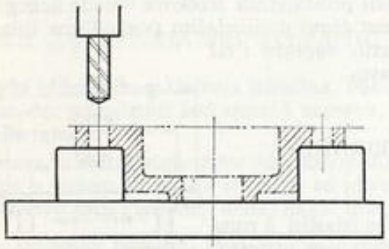
Red. br.	Opis operacije	Stroj Alat	Broj bušenja i_t	Broj prolaza i	Duljina bušenja l mm	Promjer bušenja d mm	Brzina bušenja v m/min	Posmak s mm/sek	Glavno vrijeme t_g/min	Pomoćno vrijeme t_s/min	Pripremno vrijeme t_p/min
1.	Ucrtavanje	ploča							3,40		
2.	Točkanje	prsten							1,00		
3.	Bušenje	bušilica svrdlo	8	1	14	13	18	0,15	2,18	2,50	24,0
									6,58		

② prikazuje bušenje izratka bez naprave. Ako uzmemo da osobni dohodak radnika za rad bez naprave iznosi 3 d na sat ili 0,05 d na minutu, tada zarada po komadu iznosi 0,65 d. Cijena odljeva iznosi 4 d po/kp, režija odjela u kojem se radi neka bude 50%. Ukupni troškovi za taj slučaj bit će:

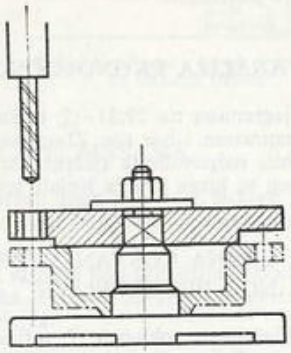
$$U = M + P + R = 2 \cdot 4 + 0{,}65 + 1{,}5 \cdot 0{,}65 = 8 + 0{,}65 + 0{,}975 = 9{,}625$$

Prema tome će svaki ležajni poklopac koštati 9,625 d/kom. Tu je:

M = cijena materijala
P = osobni dohodak radnika
R = režija odjela.



② Bušenje bez naprave



③ Bušenje poklopca s napravom

29.62 CIJENA KOŠTANJA IZRATKA IZRAĐENOG NAPRAVOM

Prva alternativa

Potrebno je izbušiti godišnje 4 000 komada ležajnih poklopaca prema ①. Bušenje će se izvršiti pomoću naprave, kako je prikazano na ③. Cijena naprave određuje se približnom pretkalkulacijom te je u našem slučaju možemo procijeniti na 300 d. Ta cijena treba da se otpiše u toku jedne godine. Podatke za bušenje možemo uzeti iz tablice 1. time da kao pomoćno vrijeme uzmemo $t_s = 2$ min, a kao pripremno $t_p = 15$ min.

Prema tome, imamo ovo vrijeme po komadu:

glavno vrijeme	t_g =	2,180
sporedno vrijeme	t_s =	2,000
pripremno vrijeme	t_p =	0,004
Ukupno komadno vrijeme		4,184
dodatno vrijeme 10%	t_d =	0,418
Ukupno vrijeme po komadu		4,602 ~ 5 min

Ukupni troškovi za taj slučaj bit će:

$$U = M + P + R + N,$$

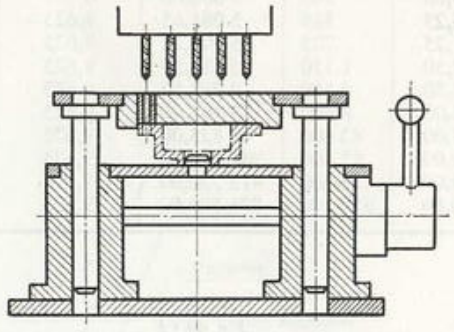
gdje N označuje troškove naprave.

Osobni dohodak radnika za rad s napravom iznosi 2,0 d na sat ili 0,033 d na minutu

$$U = 8 + 5 \cdot 0{,}033 + 0{,}165 \cdot 1{,}5 + \frac{300}{4\,000} = 8 + 0{,}165 + 0{,}248 + 0{,}075 =$$
$$= 8{,}488\,5 \sim 8{,}5 \text{ d/kom.}$$

Druga alternativa

Potrebno je izbušiti godišnje 100 000 kom poklopaca. Kako je to već velika serija, valja dobro razmisliti na koji način će se postići što brže bušenje i stezanje. Najbolje rješenje bit će naprava za brzo stezanje i jedna bušna glava sa osam vretena prema ④.



④ Naprava za brzo stezanje s bušnom glavom

Cijenu naprave s bušnom glavom odredujemo sa 5 000 d. Iz tablice 1. možemo uzeti ostale podatke. U rubrici za t_g imamo 0,27 min/kom, jer se buši svih 8 rupa odjednom. Sporedno vrijeme t_s, zbog manjeg broja pokreta, smanjeno je na 1 min. Pripremno vrijeme t_p, zbog montiranja bušne glave i naprave, iznosi 120 min. Osobni dohodak radnika uzet je kao u prvoj alternativi.

Prema tome imamo ovo vrijeme po komadu:

glavno vrijeme	t_g =	0,270
sporedno vrijeme	t_s =	1,000
pripremno vrijeme	t_p =	0,001
Ukupno komadno vrijeme		1,271
dodatno vrijeme 10%	t_d =	0,127
		1,398 ~ 1,4 min/kom.

Cijena koštanja bit će:

$$U = M + P + R + N$$

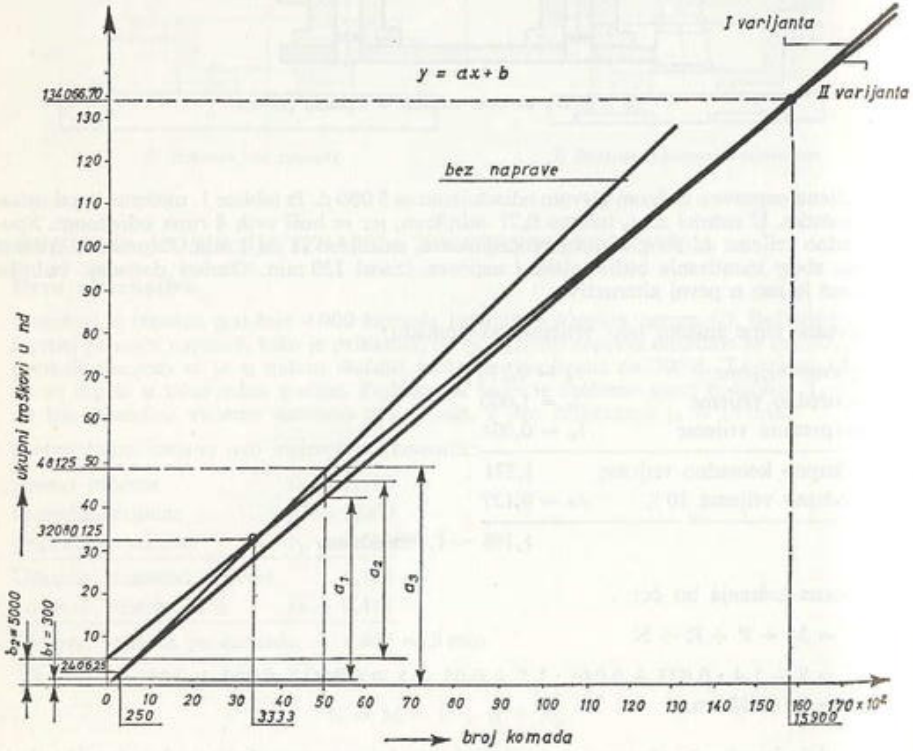
$$U = 8 + 1{,}4 \cdot 0{,}033 + 0{,}046 \cdot 1{,}5 + 0{,}05 = 8 + 0{,}046 + 0{,}069 + 0{,}05 =$$
$$= 8{,}165 \text{ d/kom.}$$

Prednje izvedbe izračunate su s približnim podacima, time da ćemo izračunati koji je granični broj izradaka i najekonomičniji način izrade.

U tablici 2. dani su podaci o troškovima za razne brojeve izradaka za sve tri varijante, tj. jedna bez naprave i dvije s napravama. Iz tih podataka mogu se nacrtati dijagrami i očitati koji je granični broj izradaka do kojeg se isplati raditi bez naprave i, eventualno, s kojom napravom.

Troškovi za razne brojeve izradaka Tablica 2.

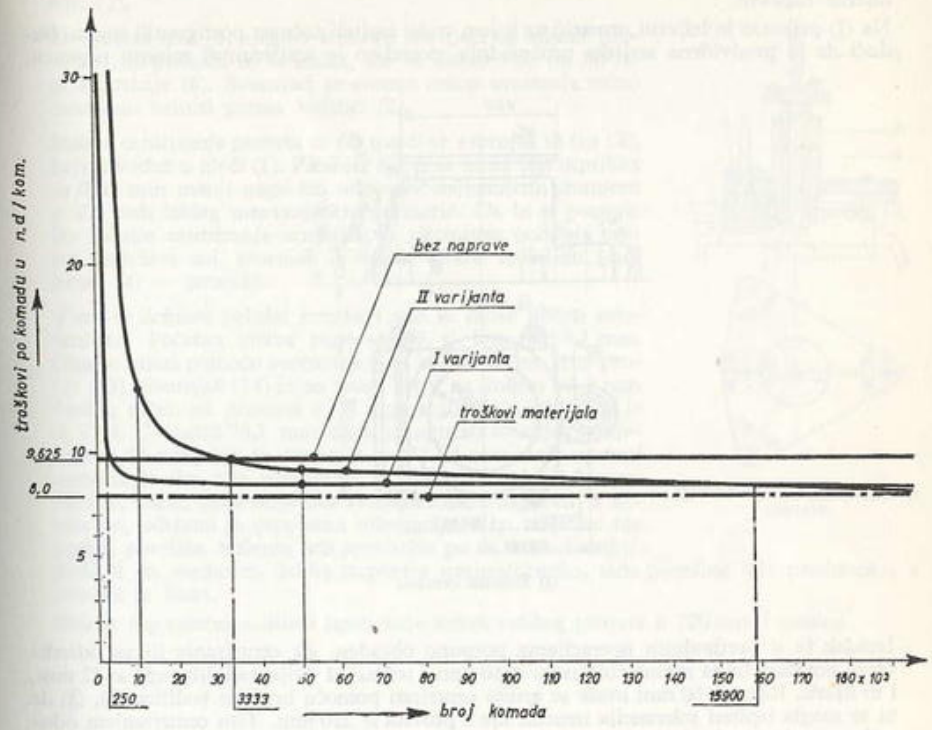
Broj komada	Ukupna cijena za d			Troškovi jednog komada d/kom.		
	Bez naprave	S napravom		Bez naprave	Sa napravom	
		I varijanta	II varijanta		I varijanta	II varijanta
0	0,00	300	5 000,00	0	0	0
10	96,25	385	5 081,65	9,625	38,50	508,165
50	481,25	725	5 408,25	9,625	14,50	108,165
100	962,50	1 150	5 816,50	9,625	11,50	58,165
500	4 812,50	4 550	9 082,50	9,625	9,10	18,165
1 000	9 625,00	8 800	13 165,00	9,625	8,80	13,165
5 000	48 125,00	42 800	45 825,00	9,625	8,56	9,165
10 000	96 250,00	85 300	86 650,00	9,625	8,53	8,665
50 000	481 250,00	425 300	413 250,00	9,625	8,51	8,265
100 000	962 500,00	850 300	821 500,00	9,625	8,50	8,215



⑤ Ovisnost ukupnih troškova o broju izrađenih komada

Dijagrami ⑤ i ⑥ prikazuju ovisnosti ukupne cijene i cijene po jednom komadu od broja izrađenih komada. Granični broj do kojeg se isplati raditi bez naprave jest 255. U intervalu od 255 do 25 000 isplati se raditi jednostavnijom napravom.

Međutim, tek otprilike iznad 25 000 isplati se graditi kompliciraniju napravu prema ④.



⑥ Cijene po jednom komadu ovisne o broju izrađenih komada

29.63 RENTABILNOST MEHANIZACIJE I AUTOMATIZACIJE

Ako se u neku proizvodnju uvedu mehanizacija i automatizacija kod alata, naprava i pribora, povećat će se proizvodnost, kvaliteta i jednakomjernost izrade, ali se zbog toga traže veća investiciona sredstva.

Vrlo često se uvode tehnološki procesi proizvodnje pri kojima je neminovno primijeniti mehaniziranu ili automatiziranu vrstu obrade jer je brzina reagiranja kod čovjeka ograničena.

Bez obzira na te procese javljaju se razni problemi, čije rješenje ovisi najviše o ekonomičnosti pothvata koji poduzimamo.

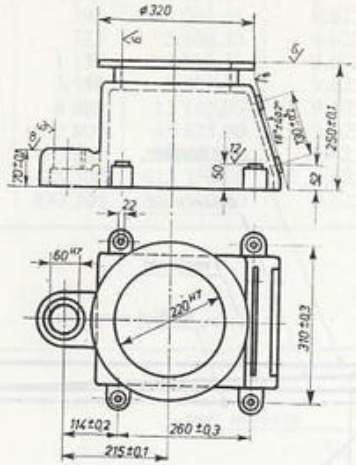
Ako uvedena automatizacija i mehanizacija snizi cijenu koštanja proizvoda, što znači da se investicije amortiziraju, kažemo da je rentabilnost postignuta.

Problemu rentabilnosti alatnog stroja, naprave, pribora i alata s mehaniziranim ili automatiziranim sredstvima potrebno je obratiti posebnu pažnju. U protivnom slučaju moglo bi se dogoditi da bude pogodniji rad s neautomatiziranim strojem, napravom, priborom ili alatom.

29.7 PRIMJER KONSTRUKCIJE I MJERENJA U MJERNOJ NAPRAVI

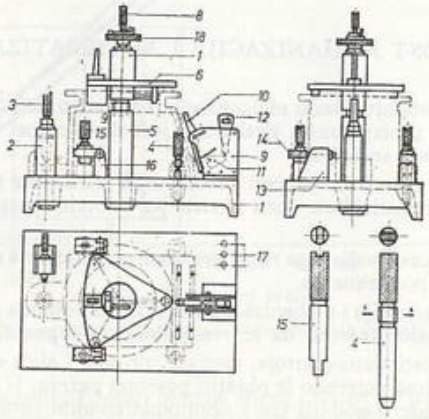
Ovaj primjer služi da bi se vidjelo kako konstruktor postepeno razvija konstrukciju mjerne naprave.

Na ① prikazan je željezni ormarić na kojem treba ispitati točnost postignutih mjera. Budući da je predviđena serijska proizvodnja, potrebno je konstruirati mjernu napravu.



① Željezni ormarić

Izradak je u prethodnim operacijama potpuno obraden. Za centriranje ili za određivanje položaja treba upotrijebiti rupu ø 60 mm i jednu od dviju zadnjih rupa ø 22 mm, i to lijevu. Rupa ø 60 mm može se grubo centrirati pomoću brušene vodilice (2), ② da bi se mogla ispitati tolerancija između nje i provrta ø 220 mm. Tim centriranjem oduzeli smo tri stupnja slobode, a ostala tri stupnja oduzima ploča (1) na kojoj leži izradak.



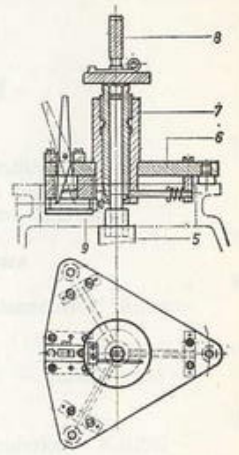
② Konstrukcija mjerne naprave

Ploča treba da je primjerno obrađena i podvrgnuta postupku starenja da bi se spriječila eventualna naknadna deformacija. Vodilica (2) utisnuta je u ploču (1) s čvrstim dosjedom. Mora se postići stroga okomitost između svih vodilica (2) i (5) umetnutih u ploču (1). Ormarić treba centrirati u provrtu ø 60 mm pomoću konusnog trna (3) koji je vođen u trnu (2).

Uvijanjem trna (3) njegovi konusni dio tlači na stijene provrta ø 60 pomoću tri svornika, što se dobro vidi na ③ ispod pozicije (6). Svornjaci se moraju nakon umetanja točno centrično brusiti prema vodilici (2).

Nakon centriranja provrta ø 60 uvodi se svornjak ili trn (4), koji je vođen u ploči (1). Promjer tog trna mora biti otprilike za 0,02 mm manji nego što odgovara najmanjem promjeru ø 22, radi lakšeg umetanja kroz ormarić. Da bi se postiglo što točnije centriranje ormarića, tj. okomitost položaja prema uzdužnoj osi, svornjak je s obje strane spljošten (vidi detalj (4) — presjek).

Time se definira položaj izratka i sad se može početi mjerenjima. Početna visina rupe ø 60, tj. kota $70 \pm 0{,}1$ mm. Ona se mjeri pomoću svornjaka (14), koji je vođen kroz provrt (13). Svornjak (14) je na svom kraju na duljini od 5 mm brušen točno na promjer ø 12 mm, a slijedeća stepenica je ø 12,4. U visinu 70,1 mm dade se ugurati svornjak s mjerom ø 12 mm, dok se stepenica sa ø 12,4 mm može ugurati samo onda ako nije postignuta donja mjera od 69,9 mm. Ako se, dakle, tanja stepenica svornjaka dade nagurati, a deblja ne, održana je propisana tolerancija. Ako tanja ne ide preko, površina bušenja leži previsoko pa se mora doraditi; dade li se, međutim, deblja stepenica nagurati preko, tada površina leži preduboko, a izradak je škart.



③ Konstrukcija gornjeg dijela naprave

Nakon tog mjerenja slijedi ispitivanje mjera velikog provrta ø 220 mm i ostalog.

NEDELJKOVIĆ Antun, dipl. inženjer strojarstva
VOJTA Dragiša, dipl. inženjer strojarstva

MJERENJA U TEHNICI

3.01 MJERNI SISTEMI (*Nedeljković*) 967
Skalni-pokazni i registracijski instrumenti — Brojila — Daljinski instrumenti — Regulacijski instrumenti — Instrumenti s otklonom i kompenzacijski — Statički, dinamički i energetski instrumenti — Greške kod mjerenja
3.02 MJERENJE SPECIFIČNIH TEŽINA (*Nedeljković*) 971
Određivanje spec. težine krutih tijela, tekućina, plinova i para
3.03 MJERENJE SILA (*Nedeljković*) 975
Vage — Spiralne opruge — Prstenasti, hidraulički i kondenzatorski dinamometri — Mjerenje sila pomoću mjernih traka
3.04 MJERENJE TLAKA (*Nedeljković*) 978
Vrste tlaka — Statički tlak — Dinamički i totalni tlak — Instrumenti — Mjerne tekućine — Manometri — Barometri
3.05 MJERENJE DUŽINA (*Nedeljković*) 985
Pomična mjerila — Mikrometri — Mjerne ure — Konačne mjerke — Kalibri — Pneumatski mjerači
3.06 MJERENJE POVRŠINA (*Nedeljković*) 994
Postupak s milimetarskim papirom — Simpsonovo pravilo — Polarni planimetar
3.07 MJERENJE BROJEVA OKRETA I BRZINA (*Nedeljković, Vojta*) 996
Mehanički mjerači — Optičko mjerenje — Brzina strujećih medija — Mjerna prigušnica — Pito-Prandtlova cijev — Voltmanovo krilo — Anemometar — Mjerenje akceleracije — retardacije
3.08 MJERENJE SNAGE, RADNJE, ZAKRETNOG MOMENTA (*Nedeljković*) 1001
Kočni, transmisijski i torzijski dinamometri
3.09 MJERENJE TEMPERATURE (*Nedeljković, Vojta*) 1003
Vrste termometara — Segerovi čunjevi
3.10 MJERENJE RAZINE (*Vojta*) 1011
Mjerenje plovkom i na principu hidrostatskog pritiska — Kapacitivni mjerači razine — Električno mjerenje
3.11 MJERENJE KOLIČINA (*Nedeljković, Vojta*) 1013
Tvari koje miruju i koje se gibaju
3.12 MJERENJE VODLJIVOSTI (*Vojta*) 1016
3.13 ELEKTRIČNA MJERENJA (*Nedeljković*) 1017
Mjerenje jakosti, napona, otpora i snage istosmjerne struje — Mjerenje snage jednofaznog potrošača izmjenične struje
3.14 MJERENJE pH-VRIJEDNOSTI (*Nedeljković*) 1020
Mjerenje lakmusovim i kolorimetarskim papirom, pH-metrima — Mjerne elektrode — Utjecaj temperature — Postupak pri mjerenju
3.15 ANALIZA PLINOVA (*Vojta*) 1022
Mjerenje na bazi toplinske vodljivosti — Magnetsko mjerenje — Analizator s apsorpcijom infracrvenih zraka
3.16 ISPITIVANJE MAZIVIH ULJA I MASTI (*Nedeljković*) 1024
Fizikalna ispitivanja — Kemijske metode — Mehaničke metode

Literatura

Gramberg A.: Technische Messungen
Feuerbach V.: Toplinska mjerenja
Skuhala Z.: Laboratorijske meritve DIN, JUS

OZNAKE		SI	TSM
a	visina meniskusa	m	mm
A	površina	m^2	m^2
c	brzina	m/s	m/s
C	električni kapacitet	F	F
$\cos \varphi$	faktor učina	—	—
D, d	promjer	m	m
e	razmak	m	m
F	sila	N	kp
g	gravitacija	m/s^2	m/s^2
h	visina	m	m
h_v	visina stupca vode	m	m
I	jakost struje	A	A
l	dužina	m	m
l_m	srednja vrijednost dužine	m	m
M	moment	Nm	kpm
n	broj okreta	l/min	l/min
p	tlak	N/m^2 N/cm^2	kp/cm^2, kp/m^2
p_a	apsolutan tlak	N/cm^2	kp/cm^2
p_d	dinamički tlak	N/cm^2	kp/cm^2
p_{st}	statički tlak	N/cm^2	kp/cm^2
p_{tot}	totalan tlak	N/cm^2	kp/cm^2
P	snaga	Nm/s = W	kpm/s
Q	protok	kg/h	kpm/s^3
r	radijus	m	m
r_A	unutrašnji otpor ampermetra	Ω	Ω
r_w	otpor strujne grane vatmetra	Ω	Ω
R	električni otpor	Ω	Ω
	plinska konstanta	J/kg°C	kpm/kg°C
R_a	unutrašnji otpor ampermetra	Ω	Ω
R_{pr}	predotpor	Ω	Ω
R_{sh}	otpor šanta	Ω	Ω
R_v	unutrašnji otpor voltmetra	Ω	Ω
t	temperatura	°C	°C
t_m	srednja temperatura	°C	°C
T	apsolutna temperatura	°K	°K
U	napon	V	V
v	brzina	m/s	m/s
	specifičan volumen	m^3/kg	m^3/kg
	vakuum	%	%
V	volumen	m^3	m^3
W	radnja	Nm	kpm
α	kut	rad	°
	linearni koeficijent toplinskog rastezanja	m/°C	m/°C
	specifična vodljivost = 1	S/m	S/m
γ	specifična težina	N/m^3	kp/m^3
γ_m	srednja specifična težina	N/m^3	kp/cm^3
γ_t	specifična težina pri temperaturi t	N/m^3	kp/m^3
ϑ	procijep	m	mm
Δ_t	razlika temperatura	°C	°C
ε	dielektričnost	F/m	F/m
η	dinamički viskozitet	Ns/m^2	kps/m^2
Λ	električna vodljivost	S	S
ρ	gustoća	kg/m^3	kps^2/m^4
	specifičan električni otpor	m	m

3. MJERENJA U TEHNICI

Funkcija mjernih uređaja sastoji se u različitim pretvorbama mjerne veličine kojima će je oni učiniti pristupačnom kontroli čovjeka, i to putem pokaznih i registracionih uređaja (pisača), ili pristupačnom automatskoj regulaciji pomoću uređaja kao što su regulatori. Pokazni instrumenti, pisači i regulatori gradeni su uvijek tako da reagiraju na neke osnovne fizikalne veličine, kao što su pomak, brzina, električna struja ili napon. Zato i mjerni uređaji treba da različite mjerne veličine uvijek pretvore u spomenute osnovne. Te pretvorbe često uključuju i pojačavanje mjernog signala na traženi iznos. Pomoćna energija može pri tome biti mehanička, toplinska, pneumatska, hidraulička ili električka, pa onda i uređaji dobivaju po tome ime.

Iznos mjerne veličine određuje se uređajima koji su izvedeni u mnogo različitih tipova.

3.01 MJERNI SISTEMI

Mjerni instrumenti služe za povremeno ili za stalno mjerenje neke veličine, npr. dužine, temperature, tlaka, električnog napona itd.

Na mjerne instrumente postavlja se niz zahtjeva, kao što su točnost, pouzdanost pri mjerenju, ugodna vanjština, mali volumen, prenosivost, neosjetljivost na udarce itd.

U jednom tipu instrumenata nije moguće idealno udovoljiti svim tim zahtjevima.

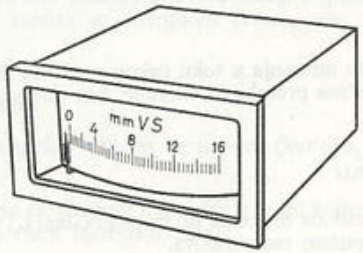
Instrumente dijelimo

— prema vanjskom izgledu i načinu izvedbe
— prema mjernom postupku i
— prema primjeni.

Po vanjskom izgledu i načinu izvedbe oni mogu biti:

— skalni — pokazni
— registracioni
— brojila
— daljinski
— regulacioni instrumenti.

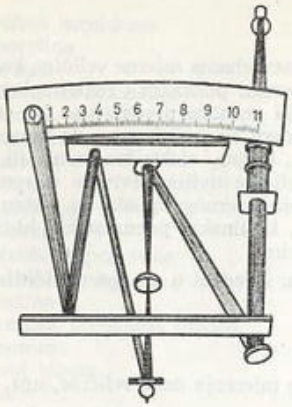
S obzirom na mjerni postupak razlikujemo instrumente s otklonom i kompenzacijske instrumente. Prema primjeni imamo pogonske, radioničke montažne, kontrolne i laboratorijske instrumente. Ovisno o porijeklu i vrsti veličine koju mjerimo sve instrumente možemo podijeliti na statičke, na dinamičke i na energetske.



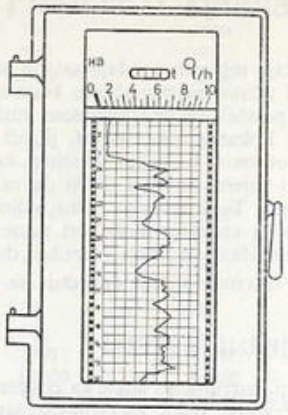
① Skalni instrument

3.011 Skalni — pokazni instrumenti

Oni pokazuju trenutni rezultat mjerenja. Može ga pokazivati kazaljka ① ili svjetlosna markica projicirana na mjernu skalu sistemom zrcala ② ili nivo tzv. mjerne tekućine itd.



② Instrument sa svjetlosnom markicom



③ Registracijski instrument

3.012 Registracijski instrumenti

Trenutne mjerne vrijednosti bilježe se nizom točkica ili neprekinutom crtom na specijalnom pomičnom papiru ③.

Ta crta znači funkcijsku ovisnost dviju veličina, npr. $c = f(\tau)$ ili $t = f(\tau)$. Pomoću metoda i instrumenata navedenih pod 3.06 moguće je odrediti veličinu površine ispod unesene crte. Ta površina može imati različito značenje. U dijagramu razvlačenja $\tau - \varepsilon$ površina predočuje utrošenu radnju kidanja, kod indikatorskog P—V dijagrama površina je radnja jednog stapaja nekog stapnog stroja, dok u drugim slučajevima površina ne mora imati odredno značenje, npr. dijagram $t = f(\tau)$.

Ipak planimetrirana površina $t = f(\tau)$ podijeljena razlikom vremena u kojem je snimana daje srednju vrijednost temperature:

$$t_m = \frac{\text{planimetrirana površina}}{\tau_1 - \tau_2} \ (°C)$$

3.013 Brojila

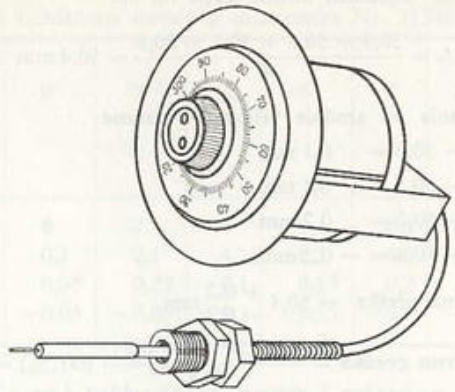
Zbrajaju trenutne rezultate mjerenja u toku nekog vremena. Najčešće se upotrebljavaju za mjerenje utrošenih količina protoka ili energije, kao plinomjeri, vodomjeri, električna brojila itd.

3.014 Daljinski instrumenti

Ti instrumenti prenose rezultate mjerenja do mjesta očitanja, i to mehanički, pneumatski, hidraulički, električki ili putem radio-valova.

3.015 Regulacijski instrumenti

Upotrebljavaju se najčešće radi automatskog održavanja neke veličine (temperature ④, tlak, pH-vrijednosti itd.).



④ Automatski regulator temperature

3.016 Instrumenti s otklonom i kompenzacijski instrumenti (kompenzacija = izjednačenje)

Otklonu kazaljke, koji uzrokuje mjerena veličina, npr. električni napon, suprotstavlja se zakretni moment spiralnih opruga i ta su dva momenta u ravnoteži. Kod tekućinskog manometra sili tlaka medija drži ravnotežu težina stupca mjerne tekućine.

Kompenzacijski instrumenti su najtočniji. Nepoznatu veličinu izjednačujemo drugom poznatom veličinom. Najjednostavniji kompenzacijski instrument je dvokraka vaga. U elektrotehnici precizna mjerenja i baždarenja izvodimo kompenzacijskim metodama i mostovima (vidi 3.13).

Mjerenje kompenzacijom traje dugo. Mjeriti se mogu samo vremenski nepromjenljive veličine.

3.017 Statički, dinamički i energetski instrumenti

Statički instrumenti mjere bez posebnog izvora energije (pomična mjerila, kalibri itd.). Dinamički i energetski koriste se energijom izvora, npr. voltmetara, ampermetara, brojila itd.

3.018 Greške pri mjerenju

Slučajne greške. To su greške subjektivne prirode (kut oka, način držanja instrumenta, koncentracija pažnje itd.).

Sistematske greške. One su skrivene i ne ovise o osobi koja mjeri (krivo odabrana mjerna metoda, greške u mjernim instrumentima).

Maksimalna apsolutna greška. To je najčešće odstupanje u + i — od neke srednje vrijednosti niza mjerenja.

Primjer. Rezultati mjerenja neke dužine iznose:

I mjerenje	II mjerenje	III mjerenje	IV mjerenje
50,3	50,5	50,2	50,6

Najvjerojatnija stvarna vrijednost dužine štapa bit će:

$$l_s = \frac{50{,}3 + 50{,}5 + 50{,}2 + 50{,}6}{4} = 50{,}4 \text{ mm}$$

Pojedinačna odstupanja od srednje vrijednosti iznose:

I mjerenje: 50,4 − 50,3 = 0,1 mm

II mjerenje: 50,4 − 50,5 = − 0,1 mm

III mjerenje: 50,4 − 50,2 = 0,2 mm

IV mjerenje: 50,4 − 50,6 = − 0,2 mm.

Maksimalna apsolutna greška $= 50{,}4 \pm \frac{0{,}2}{0{,}2}$ mm.

Maksimalna relativna greška $= \frac{|+0{,}2| + |-0{,}2|}{50{,}4} \cdot 100\,(\%) = \frac{0{,}4}{50{,}4} \cdot 100 = 0{,}79\%.$

Primjer. Kod pokaznog skalnog instrumenta najveća moguća točnost očitavanja bez obzira na vrijednost iznosi npr. 0,1 mm. Izmjerena su dva rezultata: prvi je iznosio 10, a drugi 50.

Relativna greška

Prvi rezultat:

$$\frac{0{,}1}{10} \cdot 100 = 1\%$$

Drugi rezultat:

$$\frac{0{,}1}{50} \cdot 100 = 0{,}2\%$$

Vidimo da relativna greška pada s porastom dužine očitavanja.

3.018.1 Klasa instrumenta

Najveće dopušteno odstupanje pri punom otklonu od mjerne vrijednosti zovemo klasom instrumenta.

U elektrotehnici postoji uobičajenih pet klasa instrumenata:

0,2 0,5 1,0 1,5 2,5

Primjer. Voltmetar s područjem 100 V klase 1,0 mogao bi pri punom otklonu pogriješiti $\frac{1}{100} \cdot 100 = 1\%$, tj. 1 V.

Međutim, pri mjerenju samo 10 V greška će biti znatna:

$$\frac{x}{10} \cdot 100 = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10\%!$$

3.018.2 Baždarenje

Serijskom, manje točnom instrumentu povećavamo točnost tako da ga baždarimo laboratorijskim instrumentom.

Primjer. Rezultati baždarenja metalnog manometra Nr. 31346:

Stvarna vrijednost tlaka	0	2	4	6	8	10	12 N/cm²
Vrijednosti očitane s baždarenog manometra							
I mjerenje	0	2	4	6,1	8,1	10,2	12,2
II mjerenje	0,1	2,1	4,2	6,2	8,3	10,3	12,3
odstupanja	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,25
korekcija	−0,05	−0,05	−0,1	−0,15	−0,2	−0,25	−0,25

3.018.3 Podešavanje nul-točke instrumenta i mjernog područja

Podešavanje nul-točke instrumenta predviđeno je njegovom konstrukcijom. Na primjer, kod metalnog manometra 3.047−⑩ služe u tu svrhu kulisne polugice A i B.

3.018.4 Utjecaj topline

Vlastiti ili strani izvori topline uzrokuju netočnosti instrumenta rastezanjem njegovih dijelova.

Taj utjecaj kompenziramo kod mehaničkih sistema ugradnjom povratnih opruga od materijala s negativnim toplinskim koeficijentom toplinskog istezanja.

Električna izjednačenja postižemo ugradnjom odgovarajućih ENTC otpornika (otpornik s negativnim toplinskim koeficijentom — otpor (Ω) pada s porastom temperature).

3.02 MJERENJE SPECIFIČNIH TEŽINA

Specifična težina je težina jedinice obujma neke tvari:

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ kp/m}^3 \text{ ili N/m}^3$$

U fizici specifična težina pokazuje koliko je neko tijelo teže ili lakše od istog volumena destilirane vode pri +4°C.

3.021 Određivanje specifične težine krutih tijela

Kod tijela pravilnog geometrijskog oblika volumen određujemo poznatim izrazima iz geometrije. Težinu tijela važemo na preciznoj laboratorijskoj vagi. Zbog utjecaja netočnosti pri mjerenju i vaganju dobro je izraditi nekoliko uzoraka iz istog materijala. Tada će najvjerojatnija stvarna specifična težina materijala biti srednja vrijednost specifičnih težina uzoraka:

$$\gamma_m = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3}{3} \quad (\text{kp/m}^3) \text{ ili N/m}^3$$

Za tijela nepravilna geometrijskog oblika volumen određujemo uronjavanjem tijela u menzuru.

Temperaturna korekcija specifične težine krutih i tekućih tvari:

$$\gamma_t = \frac{\gamma_0}{1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta_t} \text{ kp/m}^3;\ \text{N/m}^3$$

Odnos specifična težina-gustoća tvari:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\frac{G}{g}}{V} = \frac{G}{g \cdot V} = \frac{\gamma}{g} \text{ SI (kg/m}^3\text{) ili tehnički sistem (kps}^2\text{/m}^4\text{)}; \quad \gamma = \rho \cdot g$$

Specifične težine γ kp/m³, odnosno gustoća ρ kg/m³ metala

Tablica 1.

Aluminij lijevan	2 560	Kositar lijevani	7 200
Aluminij kovan	2 750	Kositar kovani	7 400
Antimon	6 700	Krom	7 100
Lijevani bakar	8 300 — 8 920	Magnezij	1 740
Valjani bakar	8 800 — 9 000	Mangan	7 300
Bijela kovina	7 500 — 10 100	Manganin	8 400
Lijevani bizmut	9 820	Mjed (mesing)	8 400 — 8 800
Bronca	8 730 — 8 800	Molibden	10 200
Ni-Mn	8 850	Monel kovina	8 580
Cink tekući	6 480	Nikal	8 300 — 8 900
Cink lijevan	6 800	Olovo tekuće	10 640
Cink kovan	7 000 — 7 200	Olovo lijevano	11 340
Crveni liv	8 500 — 8 700	Olovo valjano	1 140
Čelik lijevan	7 850	Platina lijevana	21 150
Čelik valjan	7 850	Platina kovana	21 400
Legura (Cr-Ni-Mo)	7 850	Silumin	2 500 — 2 650
Brzorezni čelik	8 100 — 9 000	Sivi liv	7 250
Invar (36% NI)	8 130	Srebro lijevano	10 400 — 10 500
Delta-kovina	8 600	Srebro kovano	10 500 — 10 600
Elektron	1 800	Titan	4 500
Iridij	22 400	Vanadij	5 500 — 6 000
Kadmij	8 640	Volfram	19 300
Konstantan	8 800	Zlato lijevano	19 250
Kositar tekući	7 025	Živa kod °C	13 595

Specifične težine nemetala γ kp/m³, odnosno gustoća ρ kp/m³

Tablica 2.

Aluminijski oksid	4 000	Grafit	2 000 — 2 500
Antracit	1 350 — 1 700	Guma tvrda	1 150 — 1 700
Asfalt	1 050 — 1380	Gumeni proizvodi	1 000 — 2 000
Asfaltni beton	2 200	Hematit	5 200
Azbest	2 100 — 2 800	Kalcijev karbonat	2 710
Azbestna ljepenka	1 200	Kalcijev klorid	2 150
Boksit	2 400 — 2 600	Kalcijev oksid	3 300
Boraks	1 720	Kalcijev sulfat	2 960
Borni karbid	2 510	Kalijev klorid	1 990
Celofan	1 420	Kalijeva salitra	2 090
Celuloid	1 380	Kaolin	2 100 — 2 600
Cement	2 200 — 3 250	Keramički proizvodi	1 600 — 3 900
Cijankalij	1 520	Koks	1 600 — 1 900
Dijamant	3 500	Kalofonij	1 070 — 1 090
Fosfor	1 820 — 2 540	Korund	3 750 — 4 000
Gips (pečen)	1 810	Kosti	1 700 — 2 000
Gips lijevan	970	Koža suha	860

(nastavak) Tablica 2.

Koža masna	1 020	Pirit	4 900 — 5 200
Kreda	1 800 — 2 600	Pluto	200 — 350
Kremen	2 100 — 2 650	Porculan	
Kremično staklo	2 200	Salitra	2 260
Kriolit	2 950	Salmijak	1 520
Kuhinjska sol	2 150	Smirak	4 000
Linoleum	1 100	Smola prirodna	1 250 — 1 330
Magnetit	5 100	Smola umjetna	1 350
Magnezit	3 450 — 3 650	Staklo	2 400 — 3 000
Mast	900 — 960	Stipsa	1 710 — 2 666
Naftalin	1 145	Svila umjetna	1 250 — 1 600
Natrijev klorid	2 164	Šamot	1 800 — 2 600
Natrijev sulfat	2 700	Šećer	1 610
Pamuk	1 480	Škrob	1 530
Papir	700 — 1 200	Tinjac	2 600 — 3 200
Parafin	860 — 920	Vosak	980 — 1 040
Pepeo	1 800 — 2 400	Vuna	1 300 — 1 400
Pertinaks	1 300	Zemlja	1 300 — 2 000

Specifične težine tekućina kod 15°C γ kp/m³, odnosno gustoća ρ kp/m³

Tablica 3.

Aceton	790	Otopina salmijaka	
Alkohol	790	10% (NH_4CL)	1 029
Benzin laki	680 — 720	20%	1 057
Benzin teški	760	Otopina šećera	
Benzol	875	10%	1 038
Cilindarsko ulje	930	20%	1 082
Eter sumporni	730	40%	1 177
Glicerin čisti	1 260	60%	1 287
n-heksan (C_6H_{14})	660	Parafinsko ulje	900 — 1 020
n-heptan (C_7H_{16})	684	n-pentan (C_5H_{12})	620
Katran iz		Petrolej	760 — 860
— kamenog ugljena	1 100 — 1 200	Plinsko ulje iz	
— smeđeg ugljena	850 — 910	— katrana	880 — 900
Katransko ulje iz		— kamenog ugljena	1 020 — 1 080
— kamenog ugljena	1 080	— nafte	860 — 890
— smeđeg ugljena	780 — 1 040	— smeđeg ugljena	880 — 900
Laneno ulje	940	Repičino ulje	911 — 918
Maslinovo ulje	914 — 919	Ricinusovo ulje	959 — 974
Mlijeko	1 030	Solna kiselina 20%	1 100
Morska voda	1 020 — 1 030	Solna otopina	
Nafta	700 — 1 040	10% (NaCl)	1 071
Natrijev lug	1 700	20%	1 149
n-oktan (C_8H_{18})	702	Ulje za loženje	
Otopina modre galice		— lako	890 — 980
20% ($CuSO_4$)	1 230	— teško	1 020 — 1 080
		Žesta	830

Specifične težine plinova i para pri 0°C i 1 at γ (kp/m³), odnosno gustoća ρ kg/m³

Tablica 4.

Acetilen (C_2H_2)	1,170	Klorovodik (HCL)	1,639
Amonijak (NH_3)	0,771	Koksni plin (—)	0,540
Argon (Ar)	1,784	Klor (Cl_2)	3,220
n-butan (C_4H_{10})	2,703	Metan (CH_4)	0,717
Butilen (C_4H_8)	2,50	Metil-klorid (CH_3Cl)	2,308
Cijan (C_2N_2)	2,320	Neon (Ne)	0,900
Cijanovodik (HCN)	1,220	Ozon (O_3)	2,220
Freon 12 (CF_2Cl_2)	5,083	Propan (C_3H_8)	2,019
Dušik (N_2)	1,251	Propilen (C_3H_6)	1,915
Etan (C_2H_6)	1,356	Rasvjetni plin (—)	0,51
Etilen (C_2H_4)	1,260	Sumporni dioksid (SO_2)	2,926
Generatorski plin (—)	1,14	Sumporovodik (H_2S)	1,539
Grotleni plin (—)	1,28	Ugljični dioksid (CO_2)	1,977
Helij (He)	0,179	Ugljični monoksid (CO)	1,250
Izobutan (C_4H_{10})	2,668	Vodik (H_2)	0,090
Kisik (O_2)	1,439	Zrak (—)	1,282 8

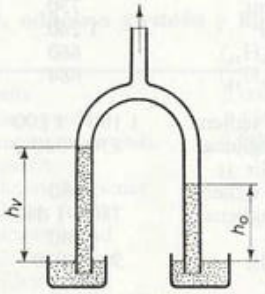
3.022 Određivanje specifičnih težina tekućina

Areometri ①. Mjerenje se izvodi običnim uronjavanjem areometra u otopinu. Redovito se isporučuju zbirke areometara. Nedostaci mjerenja tim aparatima jesu: pojava meniskusa, paralaksa oka pri očitavanju i utjecaj temperature.

① Areometar

U-cijev ②. Lijevi kraj cijevi zaronjen je u običnu destiliranu vodu, a desni u otopinu nepoznate specifične težine. Priključivanjem podtlaka na vrhu cijevi tekućine se dižu u oba kraka cijevi. Iz jednadžbe ravnoteže slijedi:

$$\gamma_o = \frac{\gamma_v \cdot h_v}{h_o} \text{ (kp/m}^3\text{) (N/m}^3\text{)}$$



② U-cijev

Piknometri. To su staklene posudice poznata volumena. Vrijednost volumena urezana im je u tijelo. Mjerni postupak: razlika između težina punog i praznog piknometra je stvarna težina tekućine:

$$\text{specifična težina } \gamma : \frac{G}{V_{\text{piknometra}}}$$

3.023 Specifična težina plinova i para

Za plinove možemo s dovoljnom točnošću izračunati specifičnu težinu iz jednadžbe stanja:

$$P \cdot v = R \cdot T$$

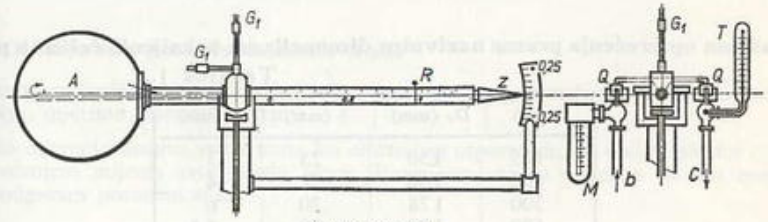
$$v = \frac{R \cdot T}{P}$$

$$\gamma = \frac{1}{v}$$

$$\gamma = \frac{P}{R \cdot T} \quad \text{kp/m}^3\text{; N/m}^3$$

Plinska vaga ③

Plin dolazi iz otvora b te prostrujava veliku tankostijenu kuglu A. Izlazi na otvor c i prilikom prolaska nailazi na posudice sa živom Q. Manometar M i termometar T mjere



③ Plinska vaga

tlak i temperaturu plina. Otklon kazaljke Z i jahača R daje specifičnu težinu plina u odnosu prema okolnom zraku. Prije prolaska plina puštamo zrak kroz plinsku vagu.

Tom prilikom jahač R mora biti na 1, a kazaljka Z na nuli.

Utezima G_1 i G_2 baždarimo vagu.

3.03 MJERENJE SILA

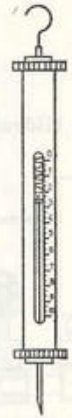
Instrumenti za mjerenje sila nazivaju se dinamometri.

3.031 Vage

Obične, decimalne, laboratorijske vage su dinamometri ako skale zacrtamo u dimenzijama sila. Tada mjerimo sile koje su posljedica tlaka poznate ili nepoznate količine tvari na zdjelici.

3.032 Spiralne opruge

Vrlo su točne. Pokatkad služe za baždarenje drugih vrsta dinamometara. Najčešće se primjenjuju kod opružnih vaga ①, mjerenja sila na kidalicama itd.



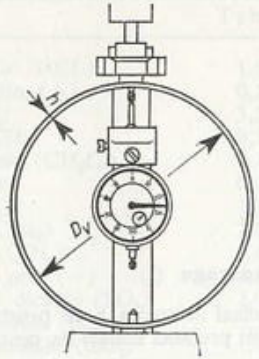
① Opružna vaga

Svaka opruga ima svoju karakteristiku, a to je linearni odnos između opterećenja i produženja ②.

Tvornički isporučene opruge, imaju ugravirane oznake najvećeg dopuštenog opterećenja i produženja, npr. 1 000/100.

3.033 Prstenasti dinamometri. Deformacije zakaljenog čeličnog prstena mjeri komparator ③.

② Karakteristika spiralne opruge



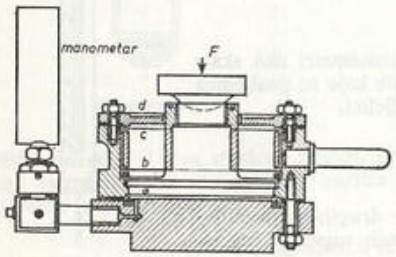
③ Prstenasti dinamometar

Dopuštena opterećenja prema nazivnim dimenzijama zakaljenih čeličnih prstena

Tablica 1.

F (kp)	D_V (mm)	b (mm)	h (mm)
125	150	25	3
200	150	22	4
300	178	20	6
500	188	20	7,5
1 300	170	40	8
1 500	250	68	8,5
2 000	230	64	9
3 000	180	42	12,8
3 500	240	80	12
4 000	290	80	12
5 000	340	92	14
6 000	320	92	16,4
7 000	280	58	18,5
7 500	300	62	19,2
10 000	300	102	20

3.034 Hidraulički dinamometri



④ Hidraulički dinamometar

Nestlačivošću tekućina koristimo se za mjerenje sila. Mjerni instrument je metalni manometar s Bourdonovom cijevi izbaždaren u kp ili u N. Mjerna tekućina zatvorena je tankom elastičnom membranom a ④.

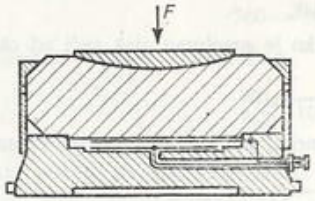
Membranu dodiruje stap koji vode dva čelična prstena, b. i c. Zaštita od prašine postignuta je membranom d. Pri dovoljno velikim promjerima stapa (100 do 200 mm) dovoljan je pomak od 0,1 mm stapa za postizanje punog iznosa sile.

Rad s hidrauličkim dinamometrima miran je i pouzdan i pri promjenljivim opterećenjima.

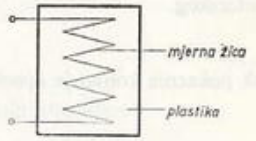
3.035 Kondenzatorski dinamometri

Upotrebljavaju se za visoka opterećenja (500 000 do 1 000 000 kp). Jedna izolirana ploča postavljena je veoma blizu druge. Između njih je dielektrikum — zrak. To je električki kondenzator kapaciteta kojih 50 pF. Deformacijom temeljnih ploča ⑤ dolazi do promjene kapaciteta kondenzatora, koji je razmjeran sili deformacije.

Mjerenje je moguće jedino upotrebom visokofrekventnog oscilatora.



⑤ Kondenzatorski dinamometar

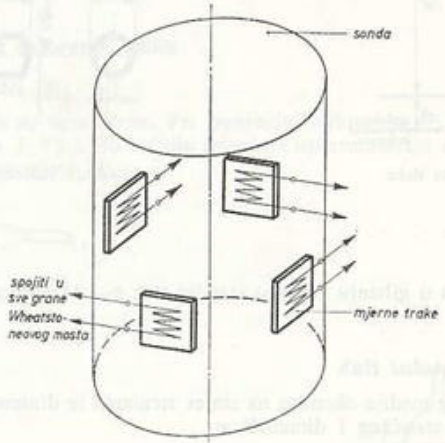


⑥ Mjerna traka

3.036 Mjerenje sila pomoću mjernih traka

Velika opterećenja, npr. težine skladišnih rezervoara za gorivo, brodova, aviona itd. ekonomično mjerimo mjernim trakama.

Načelo mjerenja zasniva se na tome što električna otporna žica u obliku pločice ⑥ pod opterećenjem mijenja svoj omski otpor. Promjenu otpora mjerimo obično mostom. Ona odgovara promjeni sile.



⑦ Dinamo trake sa čeličnom sondom

Radi veće točnosti i stabilnosti uređaja mjerni Wheatstoneov most kombinira se zajedno sa stabiliziranim elektronskim uređajem.

Tzv. dinamo-trake ugraduju se u čelične valjke — sonde pa se tek deformacija sonde prenosi na mjernu traku ⑦.

3.04 MJERENJE TLAKA

Tlak je normalna sila na jedinicu površine. Odnosi jedinica tlaka u raznim mjernim sistemima (vidi Opći Praktičar 1 3.644.5)

3.041 Vrste tlaka

Apsolutan tlak. To je veličina tlaka mjerena od apsolutnog vakuuma ①.
Jedino barometri izravno mjere apsolutan tlak.

Predtlak i podtlak. Predtlak pokazuje koliko je apsolutan tlak veći od okolišnjeg – barometarskog.

$$p_p = p_a - p_o$$

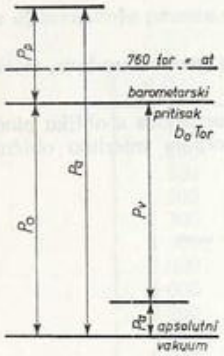
Podtlak pokazuje koliko je apsolutan tlak u nekoj posudi manji od barometarskog ①

$$p_v = p_o - p_a$$

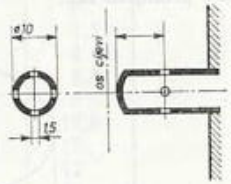
Ako podtlak izrazimo u postotku barometarskog tlaka, tada ga nazivamo **vakuumom**:

$$v = \frac{p_a}{p_o} \cdot 100\,(\%) \text{ ili}$$

$$v = \frac{p_o - p_v}{p_o} \cdot 100\,(\%)$$



① Dijagram tlaka



② Mjerenje statičkog tlaka p_{st}

3.042 Statički tlak

Tlak među česticama u gibanju zovemo statički tlak p_{st}. Mjerimo ga okomito na smjer strujanja ②.

3.043 Dinamički i totalni tlak

Naletni tlak strujećeg medija okomito na smjer strujanja je dinamički tlak. Totalan tlak dobivamo iz zbroja statičkog i dinamičkog:

$$p_t = p_{st} + p_d$$

Bernoullijeva jednadžba daje navedene tlakove:

$$\frac{p_o}{\gamma} + \frac{w_o^2}{2g} = \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} = k = p_t$$

$$p_{st} + p_d = p_t = k$$

Primjeri

1 — Izmjereni vakuum iznosi 652 tora (Torr) pri barometarskom stanju od 711 tora. Kolik je vakuum izražen u postotku?

$$p_a = 711 - 652 = 59 \text{ tora}$$

Reducirani vakuum na fizikalnu atmosferu

$$760 - 59 = 701 \text{ tor}$$

Reducirani vakuum u postotku:

$$\frac{701}{706} \cdot 100 = 92{,}3\%$$

2 — Koliko je mm s.v. 28 tora? Koliko je to fizikalnih atmosfera?

1 tor = 1 mm Hg = 13,595 mm s.v.
28 tora = 28 · 13,595 = 380,66 mm s.v.
a fizikalnih atmosfera:

$$\frac{28}{760} = 0{,}036\,8 \text{ atm.}$$

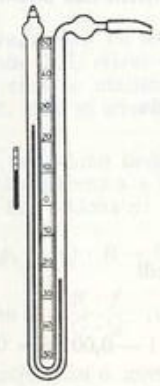
3 — Manometar na kotliću zračnog kompresora pokazuje 3,0 atmosfera predtlaka. Barometarski tlak iznosi 770 tora. Kolik je apsolutan tlak u kotliću?

$$p_a = p_p + p_o = 3{,}00 + \frac{770}{735{,}6} = 3{,}00 + 1{,}046 = 4{,}046 \text{ atm.}$$

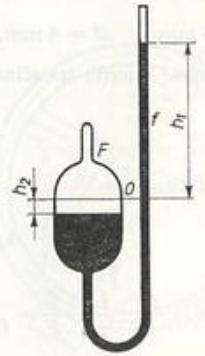
3.044 Instrumenti za mjerenje tlaka

Tekućinski manometri ③.

Mogućnosti mjerenja su ograničene. Pri punjenju vodom do 0,12 atp, živom do dvije atp (greška mjerenja ± 3%). Za točnija mjerenja upotrebljavaju se vodeni manometri s različitim promjerima cijevi ④.



③ Tekućinski U-manometar



④ Tekućinski U-manometar s razvučenim područjem

Otkloni stupaca:

$$f \cdot h_1 = F \cdot h_2$$

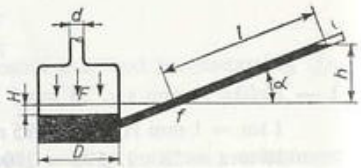
$$h_2 = \frac{f}{F} \cdot h_1$$

$$p = \gamma \cdot (h_1 + h_2) = \gamma \cdot \left(h_1 + \frac{f}{F} \cdot h_1\right) = \gamma h_1 \cdot \left(1 + \frac{f}{F}\right)$$

$1 + \frac{f}{F} = k$ — konstanta manometra

pa izlazi:

$$p = \gamma \cdot k \cdot h_1$$



⑤ Mikromanometar

Mikromanometri. Mjere vrlo male vrijednosti tlaka (promaje u dimnjacima, ložištima itd.), npr. 0 — 40 mm s.v. ⑤

Iz slike:

$h = l \cdot \sin \alpha$ predtlaku Δp odgovara stupac mjerne tekućine:

$$\Delta p = \gamma \cdot (h + H)$$

Kako je $H = l \cdot \frac{f}{F}$, slijedi:

$$\Delta p = \gamma \cdot \left(l \cdot \sin \alpha + l \cdot \frac{f}{F}\right) = \gamma \cdot l \cdot \left(\sin \alpha + \frac{f}{F}\right)$$

Izraz u zagradi ovisi samo o konstruktivnim veličinama mikromanometra.

Primjer

Potrebno je izračunati pri kojem bi kutu α bilo moguće mjeriti tlak direktno u mm s.v. ako su podaci o mikromanometru:

$D = 100$ mm, $d = 4$ mm, $p = 30$ mm s.v.

$l = 300$ mm. Mjerna tekućina je obojena destilirana voda

$$\frac{f}{F} = \frac{d^2}{D^2} = \frac{4^2}{100^2} = 0{,}001\,6$$

Iz jednadžbe:

$$\Delta p = \gamma \cdot l \left(\sin \alpha + \frac{f}{F}\right) \text{ slijedi}$$

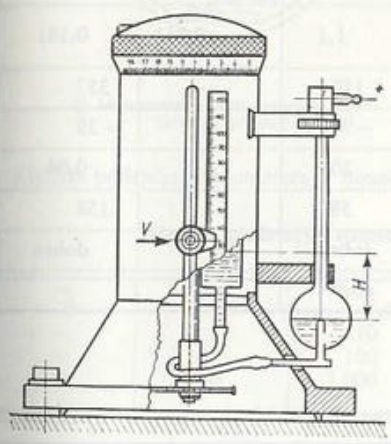
$$\sin \alpha = \frac{p}{l} \cdot \frac{l}{\gamma} - \frac{f}{F} = \frac{30}{0{,}3 \cdot 1\,000} - 0{,}001\,6 = 0 \cdot 1 - 0{,}001\,6 = 0{,}098\,4$$

$$\alpha = 5^\circ\,40'$$

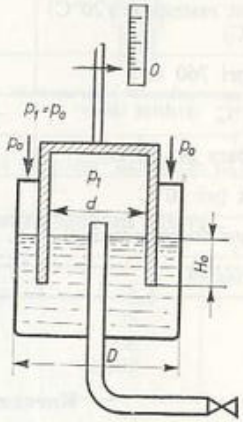
Minimetar. Kad se zahtijeva vrlo velika točnost, upotrebljava se minimetar ⑥.

Dvije proširene cijevi spojene su savitljivom cijevi. U okrugloj posudi nivo tekućine dodiruje zlatan šiljak. Pri djelovanju tlaka poremeti se nivo tekućine. Dižući mikrometarskim vijkom lijevu posudu, ponovo uspostavljamo nivo na razini zlatnog šiljka. Predtlak očitamo sa skale mikrometarskog vijka.

Zvonasti manometar. Obično se upotrebljava kao registracijski instrument. Mjerni opseg 20—200 mm s.v. Greška ± 1%.



⑥ Minimetar



⑦ Zvonasti manometar

Osjetljivost ovisi o $\frac{D^2}{d^2}$ prema ⑦ i:

$$\Delta p = p_1 - p_0 = \left(\frac{D^2}{d^2} - 1\right) \cdot \gamma \cdot h$$

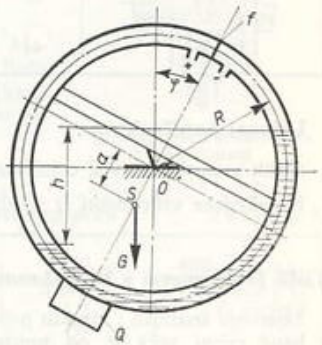
Prstenasta vaga ⑧. To je kružna cijev s pregradom f i teretom Q. U cijevi se nalazi mjerna tekućina. Kružna cijev je uležištena u svom geometrijskom središtu, dok je stvarno težište nešto niže u točki S.

Razliku tlaka privodimo tankom savitljivom cjevčicom na mjesta označena s + i —. Iz ravnoteže momenata slijedi kut otklona φ:

$$f \cdot (p_1 - p_2) \cdot R = G \cdot a \cdot \sin \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{R \cdot f}{G \cdot a} \cdot (p_1 - p_2)$$

Mjerno područje ovisi o mjernoj tekućini: za vodu ± 180 mm s.v., za živu ± 2 500 mm Hg. Greška instrumenta ± 1 — 2%.



⑧ Prstenasta vaga

3.044 Mjerne tekućine

Fizikalna svojstva Tablica 1.

Svojstva	Vrsta tekućine			
	Eter	Toluol	Petrolej	Živa
Specifična težina (20°C)	—	866	870	13 545
Koeficijent rastezanja (20°C) (10^{-3}/°C)	1,65	1,1	0,951	0,181
Vrelište pri 760 tora °C	35	110	—	357
Krutište °C	−116	−94	—	−39
Pritisak para pri 20°C	—	20	—	0,04
Viskozitet pri 20°C	—	59	—	158
Svojstva pri dodiru s vodom	slaba	dobra	—	dobra
Ostala svojstva	goriv	goriv	goriv	—

Korekcijske vrijednosti u (mm) Tablica 2.

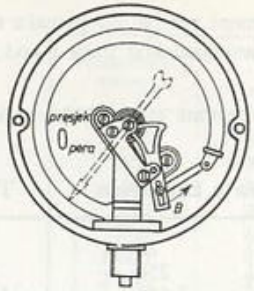
Promjer kapilare u (mm)	Visina meniskusa a (mm)							
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
4	0,83	1,22	1,54	1,98	2,37	—	—	—
5	0,47	0,65	0,86	1,19	1,45	1,80	—	—
6	0,27	0,41	0,56	0,78	0,98	1,21	1,43	—
7	0,18	0,28	0,40	0,53	0,67	0,82	0,97	1,13
8	—	0,20	0,29	0,38	0,46	0,56	0,65	0,77
9	—	0,15	0,21	0,28	0,33	0,40	0,46	0,52
10	—	—	0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37
11	—	—	0,10	0,14	0,18	0,21	0,24	0,27
12	—	—	0,07	0,10	0,13	0,15	0,18	0,19
13	—	—	0,04	0,07	0,10	0,12	0,13	0,14

Utjecaj kapilariteta

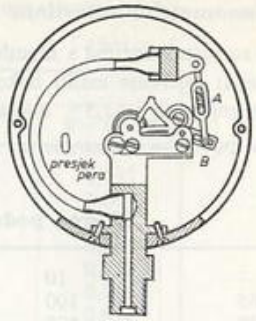
Oblik meniskusa ovisi o mjernoj tekućini. Kod vode je konkavan, kod žive konveksan. Korekcijske vrijednosti iz tablice 2. treba dodati očitanim vrijednostima.

3.045 Manometri s Bourdonovom cijevi

Mjerenje srednjih i visokih pritisaka do 10 000 atp ⑨ i ⑩. Vanjska ploha šuplje zakrivljene cijevi veća je od unutrašnje pa pri djelovanju tlaka dolazi do ispravljanja. To gibanje cijevi prenosi se preko podešljivih polugica A i B na sistem kazaljke.



⑨ Manometar s Bourdonovom cijevi (srednji pritisci)



⑩ Manometar s Bourdonovom cijevi (visoki pritisci)

Mjerna područja manometara s Bourdonovom cijevi u kp/cm² navedene su u tablici 3.

Mjerna područja manometara s Bourdonovom cijevi Tablica 3.

0	0,6	1,0	1,6	2,5	4
—	6	10	16	25	40
—	63	100	160	250	400
—	630	1 000	1 600	2 500	4 000

Klase manometara (vidi 3.018)

Klasa	0,6	1,0	2,0
Najveće dopušteno odstupanje	± 0,4%	± 0,8%	± 1,6%

Bourdonova cijev je osjetljiva na nečiste medije.

3.046 Manometri s valovitom membranom ⑪

Deformacije membrane prenose se na sistem kazaljke. Manje su osjetljivi prema nečistoćama i lakše je čišćenje. Bolje podnose promjenljiva opterećenja od manometara s Bourdonovom cijevi. Greška mjerenja ± 1,5%. Izvode se za mjerna područja prema tablici 4.

⑪ Manometar s valovitom membranom

Mjerna područja membranskog manometra Tablica 4.

0	63	100	160	250	400 mm s.v.
	630	1 000	1 600	2 500	4 000 mm s.v.
	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0 kp/cm²
	6,0	10,0	16	25	

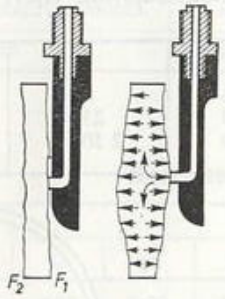
3.047 Manometri s valovitom komorom ⑫

Slični su manometrima s membranom. Pomaci komore veći su od pomaka membrane. Upotreba: mjerenje malih tlakova do 2 kp/cm², barometarskog tlaka i kod barografa. Greška mjerenja ± 1,5% mjernog područja.

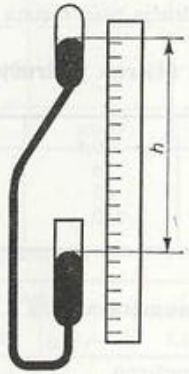
Mjerna područja manometara s valovitom komorom prema tablici 5. u mm s.v.

Mjerna područja manometara s komorom Tablica 5.

–	10	16	25	40
63	100	160	250	400
630	1 000	1 600	2 500	4 000



⑫ Manometar s valovitom komorom



⑬ Živin barometar

3.048 Barometri

Živin barometar ⑬

Na otvorenu kraju stupca žive ravnotežu drži tlak atmosfere. U gornjem kraju cijevi je vakuum ispunjen živinim parama. Tlak tih para može se zanemariti. Praktična vrijednost živinih barometara je mala zbog njihove veličine i lomljivosti.

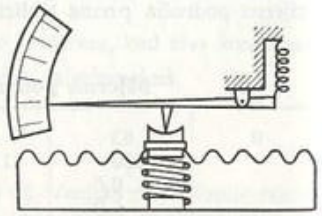
Barometar s evakuiranom aneroidnom kutijom

Shematska izvedba ⑭.

Promjene barometarskog tlaka mehanički deformiraju šuplju evakuiranu kutiju od tankog instrument-lima. Te se deformacije prenose direktno na kazaljku.

Barometarski tlak ovisan je o meteorološkim promjenama i o nadmorskoj visini.

Utjecaj nadmorske visine na barometarski tlak prikazan je u tablici 6.



⑭ Barometar s aneroidnom kutijom

Utjecaj nadmorske visine na barometarski tlak

Tablica 6.

Nadmorska visina	Tlak		
	Tor	mbar	at = kp/cm²
0	760	1 013,3	1,033
200	742,1	988,6	1,009
400	724,6	966,1	0,985
600	707,5	943,2	0,962
800	690,6	920,7	0,939
1 000	674,1	898,7	0,916
2 000	596,2	794,9	0,811
3 000	525,8	701,0	0,715
4 000	462,3	616,3	0,628
5 000	405,1	540,1	0,551
10 000	198,2	264,2	0,269
20 000	41,0	54,7	0,056

Priključivanje manometara

Pouzdanost mjerenja tlaka ovisi o izboru i ugradnji manometra.

Mjerna tekućina ne smije imati afinitet prema mediju. Utjecaj temperature otklanjamo udaljavanjem manometra i hlađenjem privodnih cijevi.

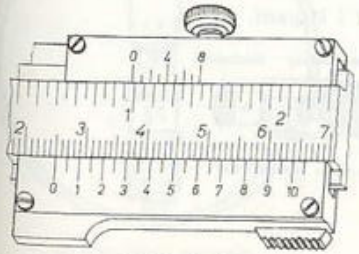
Uređaj mora biti izveden tako da se manometar može zamijeniti a da se pogon zbog toga ne zaustavlja. To se postiže ugradnjom malih zapornih organa neposredno pred manometar.

3.05 MJERENJE DUŽINA

U strojartsvu mjerimo milimetrima i njihovim dijelovima. Točnost proizvoda rijetko prelazi 0,005 i 0,11 mm.

3.051 Pomična mjerila

Izvode se za mjerenja s točnošću od 1/10 mm, 1/20 mm i 1/50 mm. Nepomičan dio pomičnog mjerila imao je nekada dvije skale: donju milimetarsku i gornju, »colnu«, a pomični dio mjerila ima također i dvije skale — nonije ①. Danas se izvode pomična mjerila samo s milimetarskom skalom.



① Nonijusi

Netočnosti pomičnih mjerila pri navedenim raspodjelama:

1/10	nonijusa	± (75 + *l*/20) mikrometara
1/20	„	± (50 + *l*/20) „
1/50	„	± (20 + *l*/50) „

gdje je *l* izmjerena dužina u mm ili prema DIN 862.

Točnost kod pomičnih mjerila prema DIN 862 (tablica 1)

Točnost pomičnih mjerila

Tablica 1.

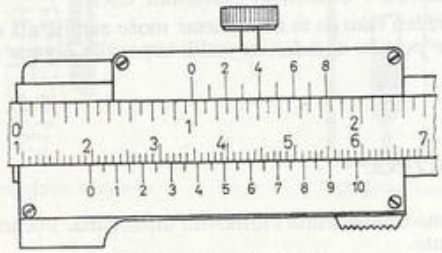
Duljina mjerenja	Granice dopuštenih odstupanja u (μm)		
	za nonijuse		
mm	1/10 mm	1/20 mm	1/50 mm
0	±75	±50	±20
50	78	53	21
100	80	55	22
150	83	58	23
200	85	60	24
250	87	62	25
300	90	65	26
400	95	70	28

Očitavanje

Milimetarska raspodjela: prvo se očitavaju centimetri pa milimetri, a prema poklapanju crtice nonijusa i crtice nepomičnog dijela očitavaju se razdjeli — desetinke i stotinke.

Primjer ②

Milimetarska skala: 19 mm 8/10 mm i 5/100 mm

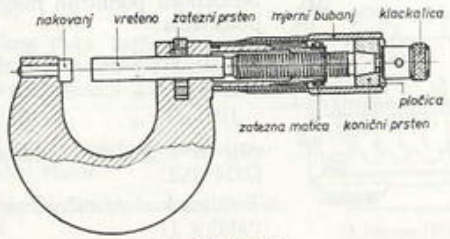


② Primjer očitavanja nonijusa

3.052 Mikrometri

Mjerna područja: 0—25 mm
0—50
0—75
0—100 itd.

Obično su potkovastog oblika ③, ali mogu biti i štapasti.

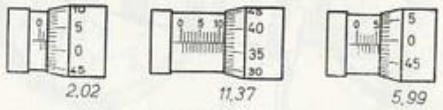


③ Mikrometar

Na nepomičnom dijelu bubnja zacrtani su puni milimetri i pripadajuće polovine. Okretni bubanj razdijeljen je na 50 jednakih dijelova. Uspon vijka h = 0,5 mm. Točnost mjerenja 0,01 mm.

Primjeri očitavanja ④

Točnost mikrometarskih vijaka prema DIN 863 tablica 2.



④ Primjeri očitavanja mikrometara

Točnost mikrometarskih vijaka Tablica 2.

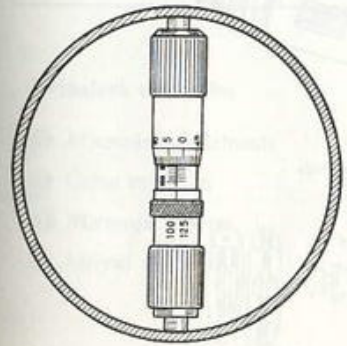
Najveća mjerna dužina (mm)	Ukupna greška mikrometra		Greške mjernih ploha, stupanj točnosti I, okomitost-paralelnost (μm)	Savijanje po kp opterećenja u (μm)
	Stupanj točnosti I (μm)	Stupanj točnosti II (μm)		
25	4	8	±2	2
50	4	8	±2,5	2
75 i 100	4	8	±3	3
125 i 150	5	10	±4	4
175 i 200	6	12	±6	5
225 i 300	7	14	±8	6

Poredbena temperatura: + 20°C.

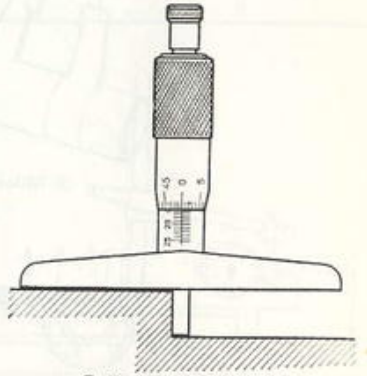
Ukupna greška: najveća odstupanja pri mjerenju konačnim paralelnim mjerkama.

Mikrometri za ostala mjerenja

⑤ Mjerenje unutrašnjih provrta
⑥ Mjerenje dubine

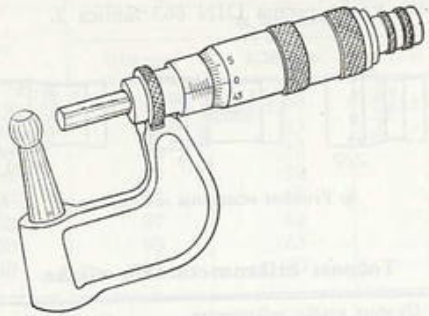


⑤ Unutrašnje mjerenje

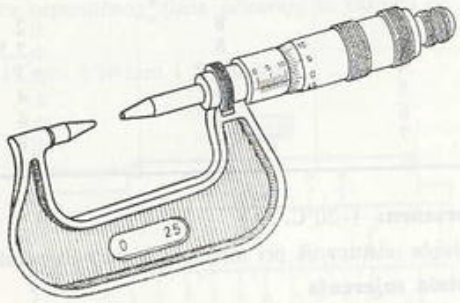


⑥ Dubinsko mjerenje

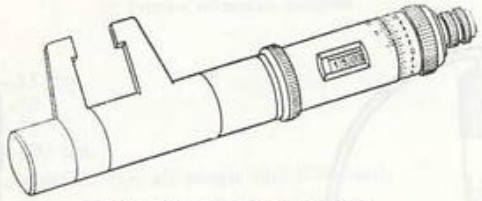
⑦ Mjerenja debljine cijevne stijenke
⑧ Mjerenje utora za klinove
⑨ Vanjska mjerenja
⑩ Mjerenja navoja



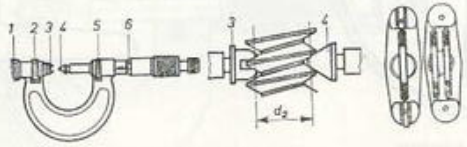
⑦ Mikrometar za mjerenje debljine cijevne stijenke



⑧ Mikrometar za mjerenje utora za klinove

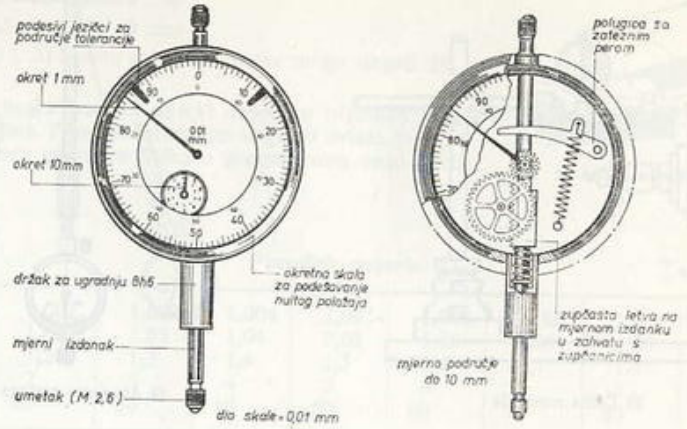


⑨ Mikrometar za mjerenje navoja



⑩ Mjerenje navoja

3.053 Mjerne ure ⑪



⑪ Mjerna ura: a — u pogledu, b — u presjeku

Mjeri se odstupanje od propisanih tolerancija pri serijskoj proizvodnji. Točnost je 1/100 i 1/1 000 mm. Upotrebljavaju se zajedno sa stalcima ili ugrađene u neki drugi mjerni instrument.

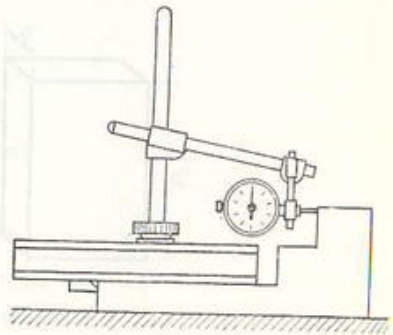
Prema kvaliteti I i II dopuštena su odstupanja u mikrometrima prema tablici 3.

Dopuštena odstupanja mjernih ura Tablica 3.

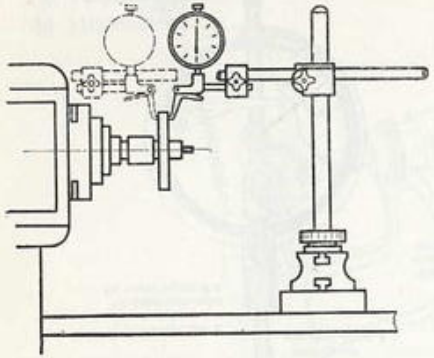
Kvaliteta	Najveća netočnost u (μm) pri vrijednosti (mm)						Trešnja instrumenta (μm)	Mrtav hod (μm)
	0,1	1	2	3	5	10		
I	5	6	7	10	12	15	±1	3
II	8	11	13	15	25	25	±2	5

Primjeri upotrebe

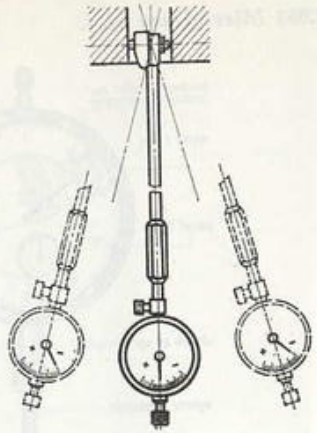
⑫ Mjerenje paralelnosti
⑬ Čelna mjerenja
⑭ Mjerenja provrta
⑮ Mjerni nastavci



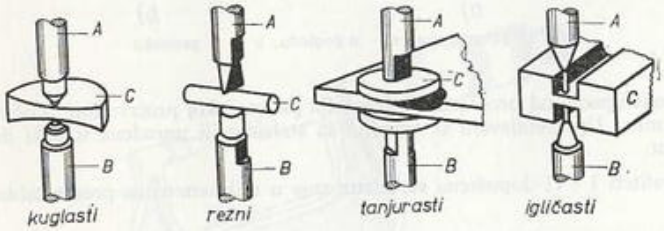
⑫ Mjerenje paralelnosti



⑭ Čelna mjerenja



⑮ Mjerenje provrta



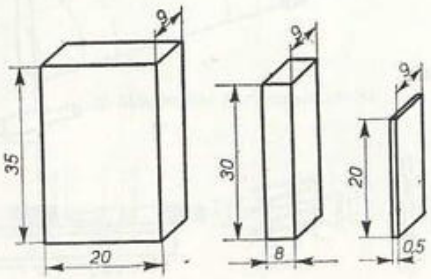
⑯ Mjerni nastavci

3.054 Konačne mjerke

Izrađene su od vrlo kvalitetnog čelika otpornog prema habanju s minimalnim koeficijentom toplinskog istezanja. Primjenjuju se za provjeru točnosti ostalih mjernih instrumenata.

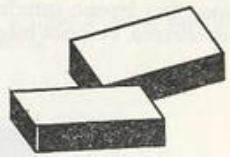
(Prvi ih je uveo Šveđanin Edward Johannsson.)

Dimenzije konačnih mjerki ⑯



⑯ Dimenzije konačnih mjerki

Iznad 10 mm 35 × 9 mm
Od 10 do 0,5 30 × 9 mm
Ispod 0,5 mm 20 × 9 mm
Plohe 30 i 20 lepane su pa se mjerke mogu slagati ⑰



⑰ Slaganje mjerki

Jastučić zraka između mjerki debeo je otprilike 0,005 mikrometara. Poredak mjerki pri slaganju ovisan je o garnituri. Veće garniture slažemo prema ovom redu (tablica 4):

Poredak mjerki Tablica 4.

1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,006	1,007	1,008	1,009
1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09
1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	20	30	40	50	60	70	80	90

Primjer

Potrebno je složiti mjerke da bi se postigla mjerna vrijednost od 32,364 mm.

Redoslijed slaganja:

1,004
1,06
1,3
29
32,364

Netočnosti mjerki prema stupnjevima kvalitete:

0 $\pm (0{,}01 + 0{,}002 \cdot l)$ (μm)
I $\pm (0{,}2 + 0{,}005 \cdot l)$ (μm)
II $\pm (0{,}5 + 0{,}01 \cdot l)$ (μm)
III $\pm (1{,}0 + 0{,}02 \cdot l)$ (μm)

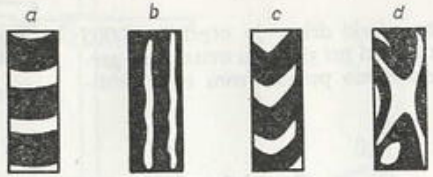
l = dužina mjerke.

Primjer

Kolike su netočnosti mjerke $l = 30$ mm u (μm) 0, I, II i III stupnja:

0 $\pm (0{,}1 + 0{,}002 \cdot 30) = \pm 0{,}16$ mikrometara
I $\pm (0{,}2 + 0{,}005 \cdot 30) = \pm 0{,}35$ „
II $\pm (0{,}5 + 0{,}01 \cdot 30) = \pm 0{,}80$ „
III $\pm (1{,}0 + 0{,}02 \cdot 30) = \pm 1{,}60$ „

Interferencija. Kontrolu ravnih ploha mikrometara, mjerki, možemo izvršiti pomoću veoma fino lepane interferentne prizme. Tu prizmu lagano povlačimo po plohi koju kontroliramo. Pomoću bikonveksne leće promatrat ćemo linije spektra na mjestu prema ⑱.



⑱ Interferentne plohe

Ovdje je:

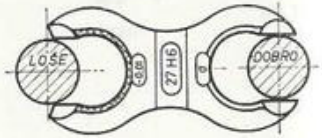
a — ravna ploha
b — ploha je idealno ravna, osim na rubovima
c — ploha je izbočena u sredini
d — ploha je sasvim loša.

3.055 Kalibri

Kalibre upotrebljavamo za brze kontrole, prema zadanim tolerancijama pri serijskoj proizvodnji.

Podjela:

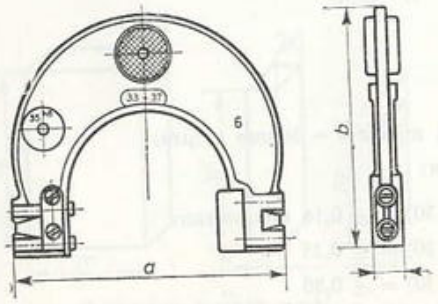
kalibri za osovine
kalibri za provrte
kalibri za navoje
kalibri za konuse
kalibri za procijepe, zaobljenja itd.



⑲ Kalibar za osovine

Kalibri za osovine ⑲. Oblik dvostruke potkove.

Oznake: crveno — ne smije proći, crno — prolazi. Podešljivi potkovasti kalibar ⑳. Prvi lijevi izdanak — ide, drugi — ne ide.



⑳ Podešljivi kalibar

Kalibri za provrte ㉑. Crvena strana — ne ide, crna — ide.

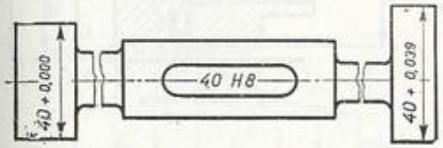
Napomena. Pojedine tvornice urezuju riječi »ide« i »ne ide« u tijelo kalibra. Izrađuju se u serijama prema dimenziji provrta i postojećim tolerancijama.

Potkovasti kalibar za navoje prikazuje ㉒.

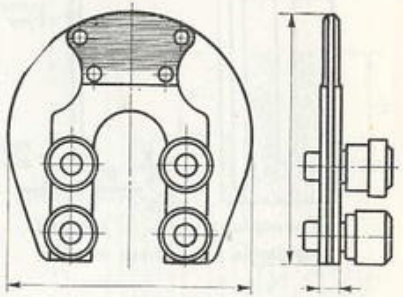
3.056 Pneumatski mjerači

Mjeri se jednostavno bez dodira metalnih ploha.

Tačnost mjerenja: 1 mikrometar = 25 mm.



㉑ Kalibar za provrte

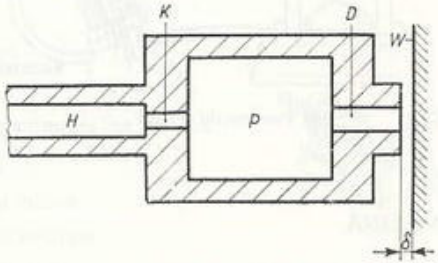


㉒ Kalibar za navoje

Prednosti pneumatskog mjerenja:

— mogućnost mjerenja na teško dostupnim mjestima
— mjerenje vrlo sitnih predmeta
— lako ručno mjerenje na velikim i teškim komadima.

Mjerni princip prikazuje ㉓.

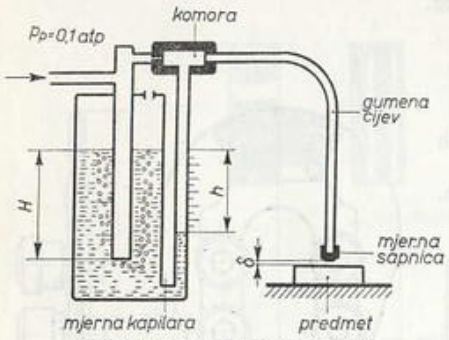


㉓ Mjerna komora

Zrak konstantnog predtlaka dolazi kroz otvor K u zapornu komoru p. Pomicanjem ploče W pred izlaznim otvorom D mijenjamo veličinu procijepa δ, a time i tlak u komori p.

Taj tlak možemo jednostavno mjeriti. Shemu cijelog uređaja vidimo na ㉔:

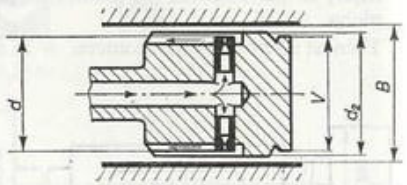
Najadekvatnije se taj sistem primjenjuje pri mjerenju provrta. Mjerne sonde liče na kalibre za provrte pa tijela imaju i iste oznake.



㉔ Shema pneumatskog mjerenja

Presjek pneumatske sonde za mjerenje provrta ㉕

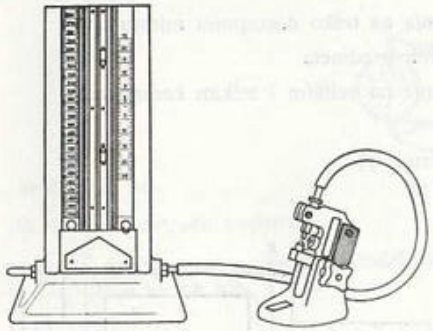
B je provrt koji mjerimo, d je promjer sonde nešto manji od B, V je početni promjer



㉕ Mjerna sonda

sonde koji olakšava ulazak, d_2 je promjer mjernih sapnica (podešljiv). Najveća je greška 1/μm)

㉖ Mjerni manometar s napravom na radnom stolu


㉖ Pneumatski mjerač

3.06 MJERENJE POVRŠINA

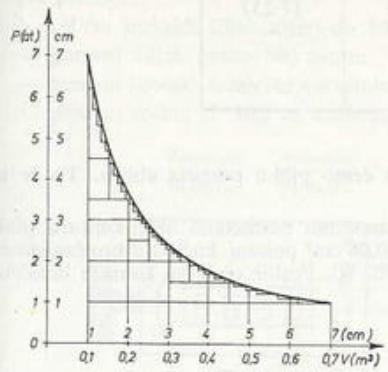
Površine pravilnog geometrijskog oblika određujemo poznatim formulama geometrije.

Za mjerenje nepravilnih površina postoje:

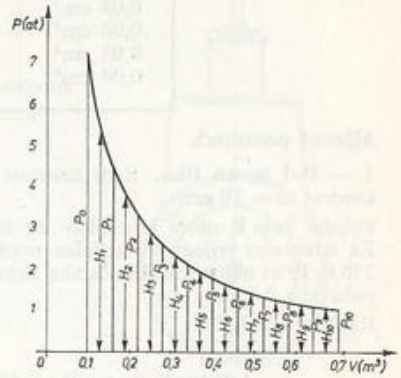
— milimetarski papir
— Simpsonovo pravilo
— polarni planimetar.

3.061 Postupak s milimetarskim papirom

To je najjednostavnija metoda, no ona zahtijeva prilično mnogo vremena i strpljivosti. Postupak: preko nepoznate plohe postavimo proziran milimetarski papir. Prvo prebrojavamo pune cm², zatim polovine, pa četvrtine i na kraju milimetre uz rub ①.



① Mjerenje površine milimetarskim papirom



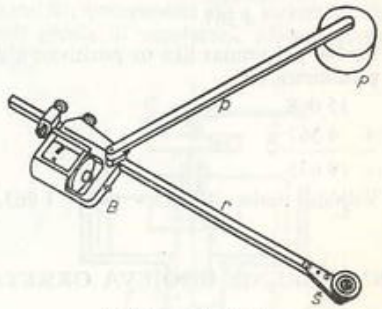
② Mjerenje površine Simpsonovim pravilom

3.062 Simpsonovo pravilo

Nepoznatu plohu razdijelimo na jednak broj dijelova ②. Visine pojedinih dijelova iznose H_1, H_2 . . . . . H_{10}. Ukupna površina bit će zbroj pojedinačnih površina, koje liče na trapeze:

$$A = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot \left(\frac{H_0}{2} + H_1 + H_2 + \ldots\ldots H_9 + \frac{H_{10}}{2} \right).$$

3.063 Polarni planimetar



③ Polarni planimetar

Dijelovi polarnog planimetra na ③ jesu:

P — polni izdanak
p — okretna polna ručica
B — kućište s brojčanicima
r — ručica sa šiljkom š.

Mjeriti možemo samo potpuno zatvorene plohe. Svaki planimetar ima neophodne podatke (vrijednost jedinice nonijusa prema podešavanju kućišta s brojčanicima, konstanta planimetra). Na primjer, podatke planimetra »Amsler« daje tablica 1.

Podaci planimetra Amsler

Tablica 1.

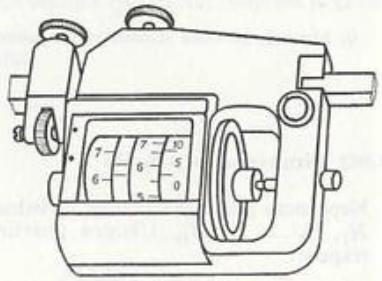
Vrijednost jedinice nonijusa	Položaj kućišta s brojčanicima	Konstanta planimetra
0,1 cm²	312,6	15 068
0,08 cm²	250,0	17 237
0,06 cm²	187,5	—
0,05 cm²	156,3	—
0,04 cm²	125,1	—

Mjerni postupak

1 — **Pol izvan lika**. Radi kontrole izmjerit ćemo plohu poznata oblika. To će biti kvadrat $a = 10$ cm.

Položaj pola P mora biti takav da šiljkom š možemo nesmetano obići konturu plohe. Za odabranu vrijednost jedinice nonijusa od 0,08 cm² položaj kućišta s brojčanicima je 250,0. Prvo očitavanje brojčanika neka je 6 570 ④. Poslije obilaska konture brojčanici pokazuju 7 820.

Razlika: 7 820
− 6 570
1 250 jedinica nonijusa. Ukupna ploha iznosi: $1\,250 \times 0{,}08 = 100{,}0$ cm².



④ Brojčanik

2 — **Pol unutar lika**. Određujemo površinu kruga $D = 50$ cm. Vrijednost jedinice nonijusa odaberemo proizvoljno, npr. 0,1 cm², položaj kućišta s brojčanicima je 312,6.

Početno očitavanje iznosi npr. 3 438. Krajnje očitavanje poslije obilaska konture je 8 005.

Razlika: 8 005
− 3 438
4 567

Kad je pol unutar lika uz pozitivan obilazak, razliku očitavanja moramo dodati konstanti planimetra.

15 068
+ 4 567
19 635

Veličina plohe: $19\,635 \times 0{,}1 = 1\,963{,}5$ cm²

3.07 MJERENJE BROJEVA OKRETA I BRZINA

Brojeve okreta mjerimo:

— mehanički
— optički
— električki.

3.071 Mehanički mjerači

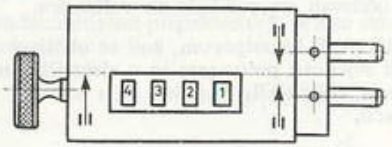
Mjerač »ukupnog broja okretaja« prikazuje ①.

Broj okreta u jedinici vremena mjere mehanički mjerači — tahometri ②.

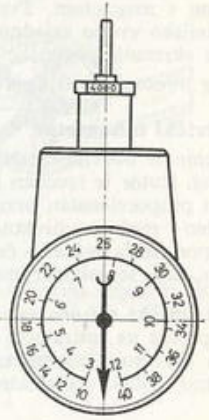
Princip rada je centrifugalan. Područje mjerenja je 100 do 48 000 o/min. Razne vrste produživača uz instrument proširuju mogućnost upotrebe instrumenta. Na primjer:

— čelični trobridi šiljak mjeri do 500 o/min
— gumeni šiljak preko 500 o/min
— gumeni lijevak za mjerenje n o/min tankih osovina
— gumeni točkić ⌀ 38,2 za indirektno mjerenje:

$$\frac{d_{\text{osovine}}}{d_{\text{točkića}}} = \frac{n_{\text{osovine}}}{n_{\text{točkića}}}$$



① Brojilo



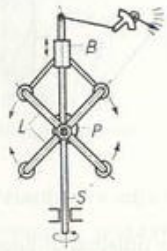
② Tahometar

Pri mjerenju treba:

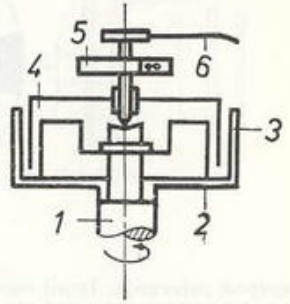
— pravilno odabrati šiljak
— os instrumenta i os osovine staviti u isti pravac
— odabrati veće područje od stvarnog broja okreta osovine.

Centrifugalni tahometar

Četiri utega prema ③ povezani su dva i dva na polugu L. Pri obrtanju poluge S na utege djeluje centrifugalna sila i oni se razmiču od osovine u smjeru strelica na slici. Gornji su utezi povezani obujmicom B pa se razmicanje utega očituje kao spuštanje obujmice. Utezi poprimaju ravnotežni položaj kad se međusobno ponište centrifugalna sila i sila pera P. Kad se, na primjer, smanji broj okreta osovine, smanji se i centrifugalna sila, a pero se zbog bližeg položaja utega uz osovinu skrati. Sile poprime novi iznos, a obujmica novi položaj. Pomak obujmice prenosi se mehanički na instrument, prema slici, ali se pomak obujmice može pretvoriti u hidraulički, pneumatski ili u električki signal za daljinsko upravljanje pokaznog instrumenta, pisača ili regulatora. Mjerni opseg je 40 do 4 800 o/min. Greška mjerenja je ± 1,5%.



③ Centrifugalni tahometar



④ Tahometar s vrtložnim strujama (1 — pogonska osovina, 2 — magnet, 3 — željezno zvono, 4 — aluminijsko zvono, 5 — pero, 6 — kazaljka)

Pogonska osovina povezuje se s osovinom kojom se mjeri broj okretaja pa se time stavljaju u gibanje magnet i željezno zvono prema ④. Kazaljka je kruto povezana s aluminijskim zvonom koje je uronjeno u raspor između magneta i željeznog zvona, tj. u magnetsko polje. Kako se okreće sistem s magnetom, tako se okreće i magnetsko polje, a kao posljedica toga induciraju se vrtložne struje u aluminijskom zvonu, koje nastoje da ga okreću zajedno s magnetom. Pero — prema slici — daje protumoment tom zakretanju, pa aluminijsko zvono zajedno s kazaljkom poprima neki ravnotežni položaj koji odgovara brzini okretanja pogonske osovine. Osovina se može okretati u oba smjera.

Opseg mjerenja je 0 do 100 000 o/min. Greška ± 1% mjernog područja.

Električki tahometar

Mjerenje se obavlja uređajima koji su slični generatorima istosmjernog ili izmjeničnog napona. Rotor je izveden kao višepolni magnet, a u statorskim namotajima inducira se napon proporcionalan brzini rezanja silnica, tj. brzini okretanja rotora. Napon je sinusoidalan i može se direktno očitati na voltmetru, koji može biti baždaren u o/min. Ako se napon skida pomoću četkica kao kod istosmjernih generatora, dobiva se istosmjerni napon, koji se također može direktno očitavati na prikladnom voltmetru.

Elektronički tahometar radi s fotoćelijom ili fotootporom, koji se obasjava svjetlom kroz prorez na rotirajućoj ploči. Impulsi svjetlosti pretvaraju se u električke impulse u ritmu okretanja pogonske osovine, a broj električkih impulsa se u jedinici vremena direktno očitava na elektroničkom brojaču.

3.072 Optičko mjerenje

Stroboskopska metoda temelji se na tromosti ljudskog oka.

Strobo-ploču razdijelimo prema formuli:

$$x = \frac{12\,000}{n}$$

x = broj crnih i bijelih polja

Primjer. Potrebno je nacrtati strobo-ploču za mjerenje $n = 1\,000$ o/min. Ploču proizvoljna promjera razdijelimo prema formuli:

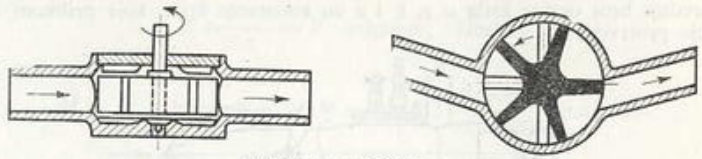
$$x = \frac{12\,000}{1\,000} = 12$$ crnih i bijelih polja ⑤ (šest crnih i šest bijelih ploha).

⑤ Strobo-ploča

Postupak mjerenja. Iznad osovine s pločom postavimo tinjalicu ili fluorescentnu svjetiljku. Ako je broj okreta točan, doživjet ćemo zbog optičke varke iluziju potpunog mirovanja ploče.

3.073 Brzina strujećih medija

Upotrebljavaju se instrumenti s mjernim krilcima. U tok strujanja ugrađujemo krilca nalik na rotor vodene turbine prema ⑥. Pri sređenom strujanju ti su instrumenti veoma točni (greška ± 2%). Okretanje krilca prenosi se preko mehanizma na kazaljku.



⑥ Mjerilo s krilcem

3.074 Mjerna prigušnica

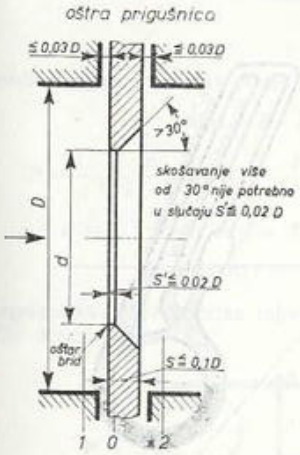
Za ugrađenu mjernu prigušnicu ⑦ brzina strujanja idealnih tekućina slijedi iz Bernoullijeve jednadžbe:

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \mu^2 \cdot m^2}} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma}(p_1 - p_2)}\ \text{m/s}$$

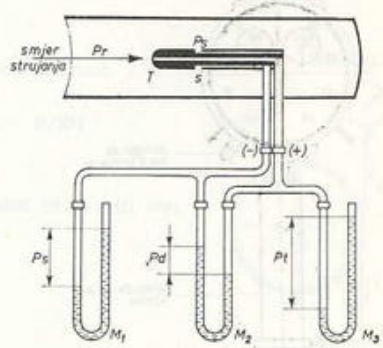
gdje je: $\mu = \frac{A_2}{A_0}\, m = \frac{A_0}{A_1}$

γ — specifična težina medija kp/m³

$p_1 - p_2$ statički pad tlakova na mjernoj prigušnici mjeren u mm s.v.



⑦ Mjerna prigušnica



⑧ Pito—Prandtlova cijev

3.075 Pito—Prandtlova cijev

Pito-Prandtlova cijev postavljena je u os strujanja ⑧.

Brzina strujanja:

$$v = \sqrt{2g \cdot \frac{\Delta p_{din}}{\gamma}}\ \text{m/s}$$

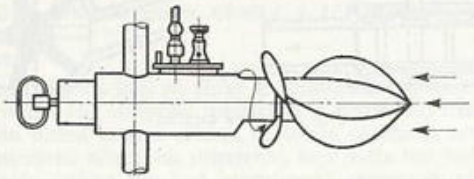
3.076 Voltmanovo hidrometrijsko krilo ⑨

Kinetička energija strujećeg medija pokreće propeler, koji u unutrašnjosti krila preko malog kolektora daje zvučne impulse.

Brzina strujanja:

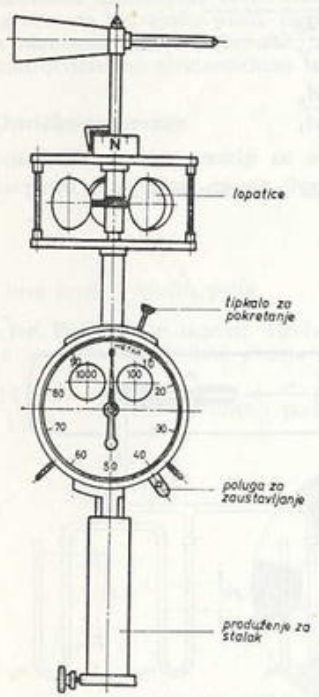
$$v = k \cdot n + a \text{ m/s}$$

n = srednji broj okreta krila u s, k i a su konstante krila, koje prilikom baždarenja određuje proizvođač.



⑨ Voltmanovo krilo

3.077 Anemometar

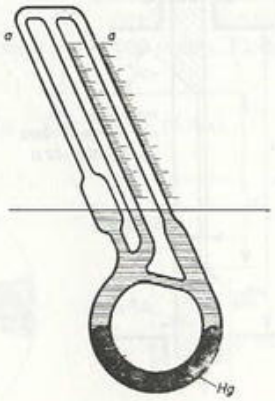


⑩ Anemometar

U meteorologiji se za brzine vjetra od 3 do 50 m/s upotrebljavaju zdjelasti anemometri sa četiri šuplje polukugle ⑩.

Skale anemometra izbaždarene su u m ili u m/s.

U prvom slučaju (m) potrebna je pri mjerenju ura »štoperica«.



⑪ Prstenasta cijev za mjerenje akceleracije

3.078 Mjerenje akceleracije — retardacije

Ubrzanje, odnosno usporenje možemo mjeriti pomoću instrumenta sa živom ⑪. To je prstenasta cijev, djelomično ispunjena živom. Na nju se nadovezuju tri kapilare. Prve dvije služe za mjerenje ubrzanja i usporenja, a treća kompenzira temperaturni utjecaj. Ti instrumenti se najčešće primjenjuju kod motornih vozila. Njima provodimo uobičajenu kontrolu ubrzanja vozila te kvalitete i podešenosti kočnica prilikom kočenja.

3.08 MJERENJE SNAGE, RADNJE, ZAKRETNOG MOMENTA

Radnja:

$$W = F \cdot s \text{ (kpm) (Nm)}$$

Snaga:

$$P = \frac{F \cdot s}{\tau} = F \cdot v \text{ kpm/s; Nm/s}$$

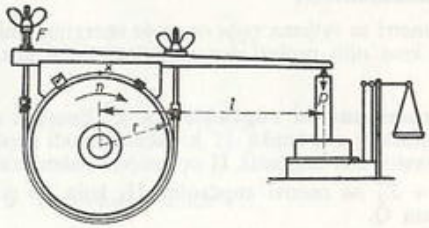
Zakretni moment:

$$M = F \cdot s \text{ kpm; Nm ili } M = 716{,}2 \cdot \frac{P\,(\text{KS})}{n\,(°/\text{min})} \text{ kpm, Nm}$$

$$P\,(\text{KS}) = 75 \text{ kpm/s; } P\,(\text{kW}) = 102 \text{ kpm/s}$$

3.081 Kočni dinamometri

Pronyjeva kočnica prikazana je na ①. Dio raspoložive energije stroja pretvara kočnica trenjem u toplinu. To je nedostatak jer je potrebno osigurati hlađenje.



① Pronyjeva kočnica

Izjednačenjem momenta stroja i momenta utega proizlazi:

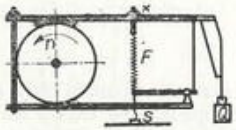
$$M_d = F \cdot l \text{ (kpm)}$$

$$P = \frac{l \cdot F \cdot n}{973} \text{ (kW)} \quad C = \frac{l}{973} \text{ konstanta kočnice}$$

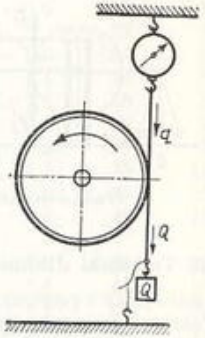
$$P = C \cdot F \cdot n \text{ za } l = 973 \text{ mm } C = 0{,}001$$

$$P = 0{,}001 \cdot F \cdot n \text{ (kW).}$$

Napomena. Prije početka mjerenja kočnica mora biti statički uravnotežena.



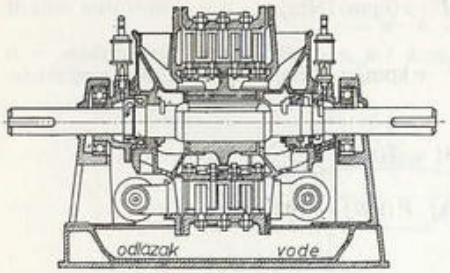
② Samopodešljiva kočnica



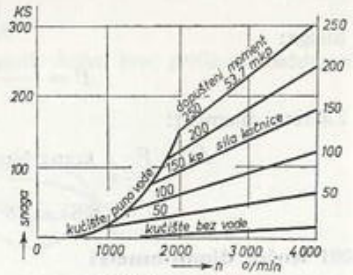
③ Užetna kočnica

Samopodešljiva papučasta kočnica ②. Opterećenje stroja podešeno je teretu Q. Ako se moment vrtnje poveća, uže S olabavi papuče, dok u protivnom slučaju opruga F pritegne papuče. Mirniji hod kod viših brojeva okreta ima užetna kočnica ③. Obodna sila $Q - q$ (kp) (N)

Za učine do 300 KS i n = 4 000 o/m upotrebljava se kočnica koja se koristi trenjem tekućine (vode) ④. Količinu vode u kočnici možemo regulirati. Pri određenom punjenju moment raste kvadratom, a snaga trećom potencijom broja okreta ⑤.



④ Hidraulična kočnica



⑤ Dijagram P–n

3.082 Transmisijski dinamometri

Transmisijski dinamometri za vrijeme rada ne troše energiju. Oni su uklopljeni u sistem prijenosa energije pa kroz njih prolazi sva raspoloživa energija, koja se dalje predaje ostalim strojevima.

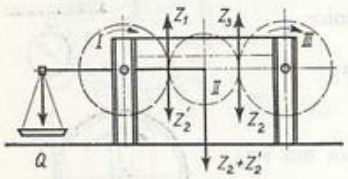
Transmisijski dinamometar sa zupčanicima ⑥. Energija se privodi u zupčaniku I pa se preko posredničkog zupčanika II konačno odvodi zupčanikom III. Zupčanici I i III ugrađeni su čvrsto, dok zupčanik II opterećuje jedan krak poluzne vage.

Rezultirajuća sila $Z_2 + Z_2'$ na osnovi zupčanika II, koja je posljedica zubnog tlaka, uravnotežuje se teretom Q.

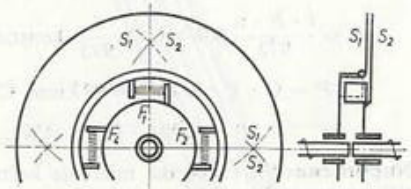
Iz momentnog pravila slijedi: $Z_2 = Z_2' = Z$ i dalje: $Z_2 + Z_2' = 2\,Z$

Ako je r_3 radijus zupčanika III, a n_3 njegov broj okreta, tada je izmjerena snaga stroja u KS:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot n_3 \cdot Z}{60 \cdot 75} \text{ (KS)}$$



⑥ Transmisijski dinamometar



⑦ Torzijski dinamometar

3.083 Torzijski dinamometri ⑦

Dvije ploče s pogonske i gonjene osovine povezane su pomoću četiri opruge $F_1F_2F_3$ i F_4. Zakretni moment elastično deformira sistem opruga, pa dolazi do međusobnog relativnog zakretanja ploča za vrijeme pogona. Kroz procijepe S_1 i S_2 pomoću male žarulje projiciramo veličinu tog pomaka.

Nedostatak je te metode u tzv. vlastitom titranju opruga. To osobito dolazi do izražaja pri promjenljivu opterećenju stroja.

Umjesto opruga moguće je mjeriti hidraulički sa četiri mala cilindra ili električki pomoću kvarcovih kristala.

3.09 MJERENJE TEMPERATURE

Temperatura skale:

Celzijusova (°C) 0°C — ledište vode
100°C — vrelište vode pri 760 mmHg

termodinamička (°K) 1°K = 1°C
0°K = − 273,16°C
T°K = t°C + 273
t°C = T°K − 273

Réaumurova (°R) 0°C = 0°R
100°C = 80°R

Fahrenheitova (°F)

$$t\,°\text{C} = \frac{5}{9} \cdot (t\,°\text{F} - 32)$$

$$t\,°\text{F} = \frac{9}{5} \cdot (t\,°\text{C} + 32)$$

Preračunavanje °C u °F pomoću tablice 1:

Preračunavanje °C u °F Tablica 1.

°C		°F	°C		°F	°C		°F
−62.2	**—80**	−112	−11.7	**11**	51.8	−0.6	**31**	87.8
−57.7	**—70**	−94	−11.1	**12**	53.6	0	**32**	89.6
−51.1	**—60**	−76	−10.6	**13**	55.4	0.6	**33**	91.4
−45.6	**—50**	−58.0	−10.0	**14**	57.2	1.1	**34**	93.2
−40.0	**—40**	−40.0	−9.4	**15**	59.0	1.7	**35**	95.0
−34.4	**—30**	−22.0	−8.9	**16**	60.8	2.2	**36**	96.8
−28.9	**—20**	−4.0	−8.3	**17**	62.6	2,8	**37**	98.6
−23.3	**—10**	14.0	−7.8	**18**	64.4	3.3	**38**	100.4
			−7.2	**19**	66.2	3.9	**39**	102.2
−17.8	**0**	32.0	−6.7	**20**	68.0	4.4	**40**	104.0
−17.2	**1**	33.8	−6.1	**21**	69.8	5.0	**41**	105.8
−16.7	**2**	35.6	−5.6	**22**	71.7	5.6	**42**	107.6
−61.1	**3**	37.4	−5.0	**23**	73.4	6.1	**43**	109.4
−15.6	**4**	39.2	−4.4	**24**	75.2	6.7	**44**	111.2
−15.0	**5**	41.0	−3.9	**25**	77.0	7.2	**45**	113.0
−14.4	**6**	42.8	−3.3	**26**	78.8	7.8	**46**	114.8
−13.9	**7**	44.6	−2.8	**27**	80.6	8.3	**47**	116.6
−13.3	**8**	46.4	−2.2	**28**	82.4	8.9	**48**	118.4
−12.8	**9**	48.2	−1.7	**29**	84.2	9.4	**49**	120.2
−12.2	**10**	50.0	−1.1	**30**	86.0	10.0	**50**	122.0

(nastavak) Tablica 1.

°C		°F	°C		°F	°C		°F
10.6	**51**	123.8	32.8	**91**	195.8	55.0	**131**	267.8
11.1	**52**	125.6	33.3	**92**	197.6	55.6	**132**	269.6
11.7	**53**	127.4	33.9	**93**	199.4	56.1	**133**	271.4
12.2	**54**	129.2	34.4	**94**	201.2	56.7	**134**	273.2
12.8	**55**	131.0	35.0	**95**	203.0	57.2	**135**	275.0
13.3	**56**	132.8	35.6	**96**	204.8	57.8	**136**	276.8
13.9	**57**	134.6	36.1	**97**	206.6	58.3	**137**	278.6
14.4	**58**	136.4	36.7	**98**	208.4	58.9	**138**	280.4
15.0	**59**	138.2	37.2	**99**	210.2	59.4	**139**	282.2
15.6	**60**	140.0	37.8	**100**	212.0	60.0	**140**	284.0
16.1	**61**	141.8	38.3	**101**	213.8	60.6	**141**	285.8
16.7	**62**	143.6	38.9	**102**	215.6	61.1	**142**	287.6
17.2	**63**	145.4	39.4	**103**	217.4	61.7	**143**	289.4
17.8	**64**	147.2	40.0	**104**	219.2	62.2	**144**	291.2
18.3	**65**	149.0	40.6	**105**	221.0	62.8	**145**	293.0
18.9	**66**	150.8	41.1	**106**	222.8	63.3	**146**	294.8
19.4	**67**	152.6	41.7	**107**	224.6	63.9	**147**	296.6
20.0	**68**	154.4	42.2	**108**	226.4	64.4	**148**	298.4
20.6	**69**	156.2	42.8	**109**	228.2	65.0	**149**	300.2
21.1	**70**	158.0	43.3	**110**	230.0	65.6	**150**	302.0
21.7	**71**	159.8	43.9	**111**	231.8	66.1	**151**	303.8
22.2	**72**	161.6	44.4	**112**	233.6	66.7	**152**	305.6
22.8	**73**	163.4	45.0	**113**	235.4	67.2	**153**	307.4
23.3	**74**	165.2	45.6	**114**	237.2	67.8	**154**	309.2
23.9	**75**	167.0	46.1	**115**	239.0	68.3	**155**	311.0
24.4	**76**	168.8	46.7	**116**	240.8	68.9	**156**	312.8
25.0	**77**	170.6	47.2	**117**	242.6	69.4	**157**	314.6
25.6	**78**	172.4	47.8	**118**	244.4	70.0	**158**	316.4
26.1	**79**	174.2	48.3	**119**	246.2	70.6	**159**	318.2
26.7	**80**	176.0	48.9	**120**	248.0	71.1	**160**	320.0
27.2	**81**	177.8	49.4	**121**	249.8	71.7	**161**	321.8
27.8	**82**	179.6	50.0	**122**	251.6	72.2	**162**	323.6
28.3	**83**	181.4	50.6	**123**	253.4	72.8	**163**	325.4
28.9	**84**	183.2	51.1	**124**	255.2	73.3	**164**	327.2
29.4	**85**	185.0	51.7	**125**	257.0	73.9	**165**	329.0
30.0	**86**	186.8	52.2	**126**	258.8	74.4	**166**	330.8
30.6	**87**	188.6	52.8	**127**	260.6	75.0	**167**	332.6
31.1	**88**	190.4	53.3	**128**	262.4	75.6	**168**	334.4
31.7	**89**	192.2	53.9	**129**	264.2	76.1	**169**	336.0
32.2	**90**	194.0	54.4	**130**	266.0	76.7	**170**	338.0

(nastavak) Tablica 1.

°C		°F	°C		°F	°C	°F
77.2	**171**	339.8	99	**210**	410	266	**510**
77.8	**172**	341.6	104	**220**	428	271	**520**
78.3	**173**	343.4	110	**230**	446	277	**530**
78.9	**174**	345.2	116	**240**	464	282	**540**
79.4	**175**	347.0	121	**250**	482	288	**550**
80.0	**176**	348.8	127	**260**	500	293	**560**
80.6	**177**	350.6	132	**270**	518	299	**570**
81.1	**178**	352.4	138	**280**	536	304	**580**
81.7	**179**	354.2	143	**290**	554	310	**590**
82.2	**180**	356.0	149	**300**	572	316	**600**
82.8	**181**	357.8	154	**310**	590	321	**610**
83.3	**182**	359.6	160	**320**	608	327	**620**
83.9	**183**	361.4	166	**330**	626	332	**630**
84.4	**184**	363.2	171	**340**	644	338	**640**
85.0	**185**	365.0	177	**350**	662	343	**650**
85.6	**185**	366.8	182	**360**	680	349	**660**
86.1	**187**	368.6	188	**370**	698	354	**670**
86.7	**188**	370.4	193	**380**	716	360	**680**
87.2	**189**	372.2	199	**390**	734	366	**690**
87.8	**190**	374.0	204	**400**	752	371	**700**
88.3	**191**	375.8	210	**410**		377	**710**
88.9	**192**	377.6	216	**420**		382	**720**
89.4	**193**	379.4	221	**430**		388	**730**
90.0	**194**	381.2	227	**440**		393	**740**
90.6	**195**	383.0	232	**450**		399	**750**
91.1	**196**	384.8	238	**460**			
91.7	**197**	386.6	243	**470**			
92.2	**198**	388.4	249	**480**			
92.8	**199**	390.2	254	**490**			
93.3	**200**	392.0	260	**500**			

Vrelišta i krutišta poznatijih tvari

Tablica 2.

Vrelište vodika	−252,8 °C
Vrelište kisika	−182,97°C
Točka sublimacije CO_2	− 78,50°C
Točka skrućivanja žive	− 38,87°C
Točka skrućivanja cinka	419,45°C
Vrelište sumpora	444,60°C
Točka skrućivanja antimona	630,50°C
Točka skrućivanja srebra	960,80°C
Točka skrućivanja zlata	1 063,00°C
Točka skrućivanja platine	1 770,00°C
Točka skrućivanja volframa	3 400,00°C

3.091 Vrste termometara

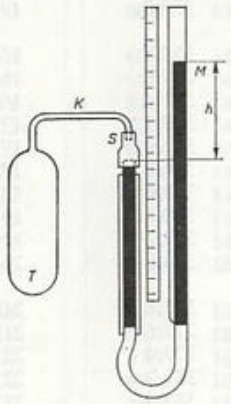
3.091.1 Stakleni termometri s tekućinom ①.

Područje mjerenja ovisi o izboru mjerne tekućine i o tlaku iznad nje.

— Termometri sa živom — 30 do + 280°C
— Termometri sa živom (neutralni plin ili vakuum iznad živine niti do + 750°C)
— Termometri s tehničkim pentanom od —200 do + 20°C
— Termometri s alkoholom od — 110 do + 50°C
— Termometri s toluolom od — 70 do + 100°C

Greška mjerenja ± 1,5%

① Stakleni termometar



② Plinski termometar

3.091.2 Plinski termometri

Područje mjerenja od — 200°C do + 1 400°C. Sastoje se od male bombe ispunjene mjernim plinom i staklene U-cijevi ②. Primjenjuje se pri baždarenju u laboratorijima.

3.091.3 Bimetalni termometri

Za šipku kojoj je dužina najizrazitija dimenzija može se pretpostaviti da se rastezanje materijala uslijed povišenja temperature očituje samo kao promjena dužine, a promjene ostalih dimenzija se zanemaruju. Ako se za osjetilo temperature uzme traka ③ koja je načinjena od dva metalna sloja s različitim koeficijentom rastezanja, onda se pri promjeni temperature slojevi rastežu tako da se jedan rasteže više, a drugi manje, što dovodi do savijanja trake u jednu stranu. Taj se otklon prenosi mehaničkim sistemom poluga i zupčanika na kazaljku instrumenta, čija je skala baždarena u stupnjevima temperature. Bimetalna traka može biti i u obliku spirale, koja se pri promjeni temperature savija, odnosno ispružuje.

③ Bimetalni termometar

Opseg mjerenja iznosi od — 30°C do + 400°C.
Greška mjerenja iznosi oko 2% mjernog područja.

Koeficijenti rastezanja

Tablica 3.

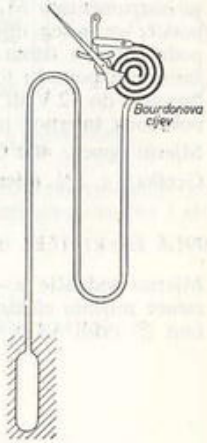
Materijal	Koeficijenti rastezanja ($1/°C \cdot 10^{-6}$)
Kremeno staklo	0,5
Invar	0,9
Krom	8,5
Čelik	11,5
Nikal	13,0
Konstantan	15,23
Bakar	16,5
Bronca	17,5
Manganin	17,5
Mjed	18,4

3.091.4 Štapni termometar

Istezanje metalne šipke može se direktno iskoristiti za mjerenje temperature. Šipka od materijala s velikim koeficijentom rastezanja, kao što su aluminij, mjed ili nikal, stavlja se u cijev od porculana ili kvarca, koja se vrlo malo rasteže pri promjeni temperature. Jednim svojim krajem šipka i cijev su čvrsto upete i tim dijelom se sistem uronjava u mjerni prostor; na slobodnu kraju nastaje razlika u produženju šipke i cijevi, a ta se razlika pogodnim sistemom prenosi na kazaljku pokaznog instrumenta.

Taj način mjerenja daje prilično velike snage, koje se mogu iskoristiti ne samo za pokretanje kazaljke instrumenta nego i kao mehaničko djelovanje na regulator temperature. Opseg mjerenja je od 0°C do 200°C. Greška mjerenja ± 2,5 % mjernog područja.

Mjerno područje je — 200 do + 650°C. Punjeni su tekućinom, parom ili plinom. Primjena: registracijski instrumenti (vidi 3.01), termoregulacije, daljinska mjerenja (do 50 m).



④ Manometrički termometar

3.091.5 Pirometri

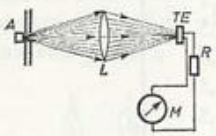
Za mjerenje visokih temperatura ne mogu se više primijeniti metode mjerenja na bazi prijelaza topline vođenjem, nego na bazi isijavanja topline s mjernog medija.

To načelo mjerenja može se primijeniti bilo da se mjeri ukupna toplina isijavanja ili da se mjeri valna dužina isijavanja, tj. boja svjetla užarenog tijela, koja je karakteristična za određenu temperaturu.

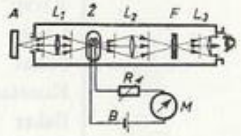
Pirometar za mjerenje ukupnog isijavanja prema ⑤ sastoji se od leće L, koja usmjerava toplinu isijavanja na termobateriju TE. Ova se sastoji od nekoliko termoelemenata, koji daju napon ovisan o toplini isijavanja i koji se mjeri instrumentom sa zakretnim svitkom M. Uređaj se usmjerava prema mjestu mjerenja pa se preko kontrolnog objektiva promatra mjerna površina. Površina isijavanja S treba da iznosi bar 6 cm², a mjerenje se obavlja s udaljenosti od 1 m na više. Iznos termonapona kreće se oko 30 mV.

Opseg mjerenja: + 600°C do 2 000°C.

Greška: ± 2% mjernog područja.



⑤ Pirometar na bazi isijavanja



⑥ Pirometar na bazi uspoređivanja

Pirometar na bazi uspoređivanja valnih dužina isijavanja sastoji se od elemenata prema ⑥.

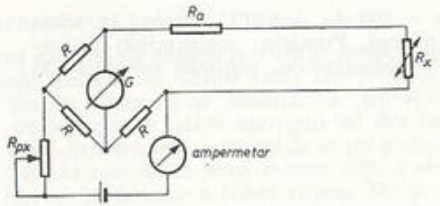
Leća L_1 usmjerava isijavanje površine A na žarulju Ž, kojoj se žarna nit zagrijava pomoću baterije B. Optički se ustanovljuje da li ta nit ima istu boju isijavanja kao površina A pa se promjenljivim otpornikom R ručno podešava grijanje žarne niti dok se njena boja ne stopi s bojom površine A, koja se vidi u pozadini. Struja zagrijavanja žarne niti mjeri se instrumentom M, koji je baždaren u °C. Upotrebom crvenog filtra zbog zaštite oka postiže se opseg mjerenja od + 800°C do + 3 500°C. Greška iznosi ± 2% mjernog područja. Na istom načelu radi fotoelektrički pirometar, koji sam podešava grijanje žarne niti pomoću fotodiode. Električki izlazni signal tog instrumenta (npr. istosmjerni napon 0 do 12 V ili istosmjerna struja 0 do 20 mA) dovoljan je ne samo za aktiviranje pokaznog mjernog instrumenta nego se može priključiti i na pisač ili na regulator.

Mjerni opseg: 400°C do 2 000°C.

Greška: ± 1% mjernog područja.

3.091.6 Električki otporni pirometri

Mjerno područje je — 220 do + 550°C. Vrlo su točni. Mjerni princip: promjena temperature mijenja električki otpor vodiča. Promjenu otpora mjerimo Wheatstoneovim mostom ⑦ (vidi 3.11).



⑦ Električki otporni pirometar u spoju Wheatstoneova mosta

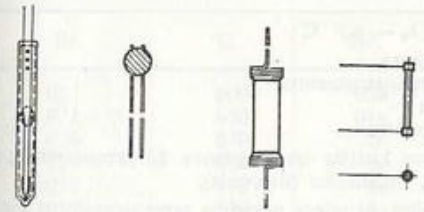
Najčešće se upotrebljava žica od platine i nikla.

Vrijednosti otpora Ω/m za platinsku i niklenu žicu, ⌀ 0,05 (tablica 4)

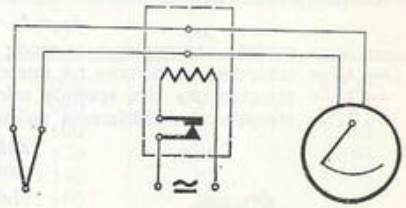
Vrijednost otpora žice od Pt i Ni Tablica 4.

t °C	Pt Ω/m	Ni Ω/m	t °C	Pt Ω/m	Ni Ω/m
−200	18,44	—	400	247,04	—
−150	39,70	—	450	264,14	—
−100	60,26	52,3	500	280,92	—
− 50	80,35	74,20	550	297,42	—
0	100,00	100,00	—	—	
+ 50	119,40	129,10	—	—	
100	138,50	161,70	—	—	
150	157,30	198,60	—	—	
200	175,84	—	—	—	
250	194,08	—	—	—	
300	212,02	—	—	—	
350	229,68	—	—	—	

3.091.7 ENTC-otpornici ⑧



⑧ ENTC — otpornici



⑨ Termopar s termostatom

To su materijali s negativnim električkim toplinskim koeficijentom. Uz isporučene otpornike tvornice daju i dijagrame baždarenja. Najčešća primjena: termoautomatika i elektroautomatika.

3.091.8 Termoelementi

Dva raznorodna metala zavarena na jednom kraju daju termoelement ⑨.

Najčešće se kao termoelementi upotrebljavaju:

bakar — konstantan
željezo — konstantan
nikalkrom — nikal
platinrodij — platina.
Odnos °C — mV za razne tipove termoparova

Greška mjerenja zavisno o mjernom području ± 1,5%.

Promjeri žica termo-parova kreću se od 0,5 mm do 3 mm. Do 150°C krajevi se leme, kod 750°C tvrdo leme, iznad 750°C se vare.

Termo-napon je vrlo malen (otprilike 0,04 mV/°C) pa su potrebni vrlo točni milivoltmetri.

Termo-par mjeri razliku temperature između mjernog mjesta i priključka na vodove instrumenta.

Usporedbene temperature 0°C Tablica 5.

TERMOPAR	Cu—konstantan	Fe—konstantan	NiCr—Ni	PtRh—Pt
+krak −krak	Cu konstantan	Fe konstantan	NiCr Ni	PtRh Pt
−200°C	−5,70	−8,15		
−100	−3,40	−4,40		
0	0	0	0	0
+100	4,25	5,37	4,04	0,64
200	9,20	10,95	8,14	1,44
300	14,89	16,55	12,24	2,32
400	20,99	22,15	16,38	3,26
500	27,40	27,84	20,64	4,22
600	34,30	33,60	24,94	5,23
800	—	46,23	33,27	7,34
1 000	—	—	41,32	9,60
1 200	—	—	49,00	11,97
1 400	—	—	—	14,38
1 600	—	—	—	16,76

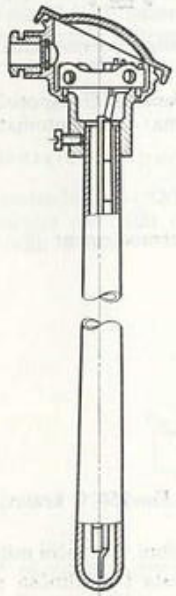
Korekcija očitavanja:

$$t_s = t_p + (t_u - t_b)\ °C$$

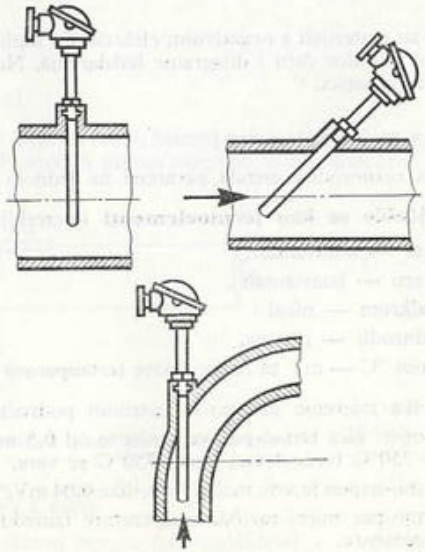
— t_s = stvarna temperatura mjernog mjesta
— t_o = temperatura očitana na mjernom instrumentu
— t_u = temperatura žica spojnog mjesta
— t_b = temperatura baždarenja milivoltmetra.

Zaštitna kućišta termo-parova ⑩ (temperatura, korozija, dinamička oštećenja).

Nekoliko primjera ugradnje termo-parova u cjevovode ⑪.



⑩ Termoelement u kućištu



⑪ Primjeri ugradnje termoelemenata

3.091.9 Izvedba termometara

Kod svih navedenih vrsta termometara važno je da se uspostavi što bolja veza između medija kojemu se mjeri temperatura i mjernog uređaja kako bi prijelaz topline bio što bolji. To je napose važno kad mjerenje temperature ne služi samo za pokazivanje nego i za regulaciju, na koju tromost termometra loše utječe.

Zato se kod termometara za regulaciju često pribjegava specijalnim izvedbama, kod kojih je brzina reagiranja veća nego kod normalnih termometara. Općenito treba da je masa termometra što manja, a zaštitne stijenke od materijala koji dobro vode toplinu, pa i sama ugradnja termometra na mjernom mjestu treba da odgovara navedenim zahtjevima.

3.092 Segerovi čunjići

Segerov čunjić je mala trostrana silikatna krnja piramida čiji je jedan brid okomit na podlogu. Pri određenoj temperaturi postepeno omekša prema svome sastavu. Mjerno područje 600°C do 2 000°C (tablica 6).

Srednje vrijednosti taljenja Segerovih čunjića Tablica 6.

Br.	°C	Br.	°C	Br.	°C
022	600	02a	1 060	19	1 520
021	650	01a	1 080	20	1 530
020	670	1a	1 100	26	1 580
019	690	2a	1 120	27	1 610
018	710	3a	1 140	28	1 630
017	730	4a	1 160	29	1 650
016	750	5a	1 180	30	1 670
015a	790	6a	1 200	31	1 690
014a	815	7	1 230	32	1 710
013a	835	8	1 250	33	1 730
012a	855	9	1 280	34	1 750
011a	880	10	1 300	35	1 770
010a	900	11	1 320	36	1 790
09a	920	12	1 350	37	1 825
08a	940	13	1 380	38	1 850
07a	960	14	1 410	39	1 880
06a	980	15	1 435	40	1 920
05a	1 000	16	1 460	41	1 960
04a	1 020	17	1 480	42	2 000
03a	1 040	18	1 500	—	—

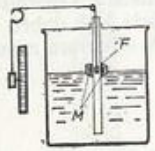
3.10 MJERENJE RAZINE

3.101 Mjerenje plovkom

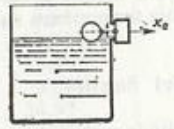
Položaj plovka na površini tekućine direktno pokazuje razinu tekućine, ali za pokazivanje razine na mjernom instrumentu moraju se izvesti različiti prijenosi. To može biti jednostavan lanac, kome je na jednom kraju učvršćen plovak, a drugi kraj s utegom i kazaljkom

prebačen preko kolotura pokazuje razinu tekućine. Za zatvorene posude pod pritiskom sličan se prijenos izvodi magnetom M, koji je ugrađen na plovak i vuče za sobom čep F od mekog željeza prema ①.

Plovak može biti pričvršćen i na kraju poluge kao na ② tako da se promjenom razine zakreće oko okretišta 0. Zakret drugog kraja poluge može se pretvoriti u električki ili pneumatski signal, koji se dovodi na pokazni instrument, na pisač ili na regulator. To mogu



① Mjerenje razine plovkom



② Mjerenje razine plovkom za manji opseg

biti i krajnji kontakti, koji aktiviraju daljnje uređaje (npr. uključivanje i isključivanje pumpi, razne signale ili alarmne funkcije) pri određenim vrijednostima razine, vrlo često pri gornjoj, odnosno donjoj graničnoj vrijednosti. Taj način mjerenja zadovoljava praktički čitav opseg promjena razine koje se javljaju u industriji.

3.102 Mjerenje razine na načelu hidrostatskog pritiska

Pritisak na dnu stupa tekućine je to veći što je stupac tekućine viši. Mjerenjem pritiska na dnu spremnika s tekućinom može se ustanoviti visina razine iznad mjesta mjerenja. Ako se pritisak u rezervoaru mijenja, najtočniji rezultati postižu se mjerenjem razlike pritisaka iznad tekućine i na dnu rezervoara. Taj diferencijalni pritisak je mjera za razinu, a može se mjeriti već spomenutim metodama za mjerenje diferencijalnog pritiska, kao što su npr. prstenasta vaga i drugi manometri ③.

③ Mjerenje hidrostatskog pritiska

3.103 Kapacitivni mjerači razine

Ako je potrebno da se mjerni signal daljinski prenosi, često se upotrebljavaju električki mjerni signali pa je u takvim slučajevima pogodno da se i samo mjerenje obavi električkim putem. Time se izbjegavaju dodatni uređaji za pretvorbu mjernog signala u električku veličinu.

Takvo mjerenje razine izvodi se pomoću kapacitivne sonde uronjene u tekućinu ili postavljene na neku udaljenost iznad srednje razine.

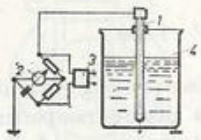
Električki kapacitet dan je formulom:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{e}$$

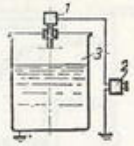
Prema tom izrazu vidi se da se kapacitet može uzeti kao mjera za razinu na dva načina:

1 — Kod uronjene sonde promjenom razine mijenja se dodirna površina A i proporcionalno s time kapacitet, a e je konstantno i određeno je debljinom obloge sonde. ε_r je dielektrička konstanta obloge sonde ④.

2 — Ploča površine A postavljena je na nekom razmaku od površine tekućine pa se kapacitet mijenja obrnuto proporcionalno s tim razmakom. Pri tome se konstanta dielektričnosti ε_r odnosi na medij koji se nalazi iznad tekućine ⑤. Kapacitet se mjeri pomoću električkog mosta, koji se napaja iz visokofrekventnog izvora napona.



④ Kapacitivno mjerenje razine uronjenom sondom (1 — mjerna sonda, 2 — pokazni instrument, 3 — VF oscilator, 4 — spremnik)



⑤ Kapacitivno mjerenje razine ravnom sondom (1 — mjerna sonda, 2 — mjerni uređaj, 3 — spremnik)

3.104 Električko mjerenje

Električko mjerenje razine obavlja se također pomoću svjetlosnih ili radioaktivnih zraka. One se usmjeruju horizontalno od izvora na suprotnu stranu spremika, gdje se nalazi uređaj za mjerenje intenziteta prispjelih zraka. Ako prolaze kroz tekućinu, one se djelomično apsorbiraju.

3.11 MJERENJE KOLIČINA

3.111 Tvari koje miruju

Vaganje. Sila nepoznate količine tvari izjednačuje se silom poznatih utega. Najuobičajeniji tipovi vaga jesu: dvokrake, jednokrake, decimalne, opružne, analitičke.

Greške pri vaganju:

— netočnost pri baždarenju utega
— greške u mehaničkoj izradi vage
— utjecaj geografskih širina i nadmorskih visina (otprilike ± 0,3%)
— uzgon zraka (otprilike 0,12%)

Količinu plina određujemo pomoću posude sa zapornom tekućinom ①. Ne smije postojati afinitet između plina i tekućine.

$$V_{\text{plina}} = V_{\text{spremnika}} - V_{\text{tekućina}}$$

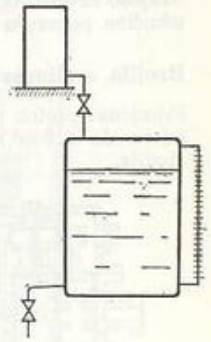
Reducirani volumen na normalno stanje: 760 tora i 0°C iznosi:

$$V_N = V \cdot \frac{P}{P_N} \cdot \frac{T_N}{T}$$

V_N = reducirani volumen
V = volumen plina
P = tlak plina u posudi
T = temperatura plina u posudi
P_N = 760 tora
T_N = 273 °K.

Tekućine u posudama: $G = V \cdot \gamma$ (kp) ili

$$G = V \cdot \rho \text{ (kg)}.$$



① Spremnici

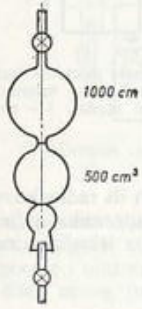
3.112 Tvari koje se gibaju

1 — Krute tvari

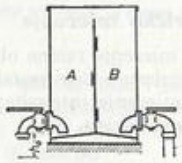
Rastresite tvari na transporterima određujemo prema vrsti transportera. Općenit je izraz:

$$Q\,(\mathrm{kg/h}) = A \cdot \rho \cdot V \cdot 3\,600$$

Ovdje je: A = površina presjeka rastresite tvari
V = brzina gibanja transportera
ρ = gustoća tvari.



② Kruškasta posuda



③ Spremnik s pregradnom stijenom

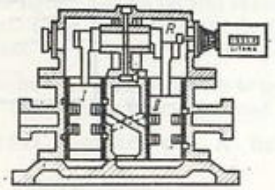
2 — Tekuće (kapljevite tvari)

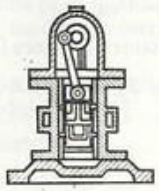
Pražnjenje kruškastih posudica prikazuje ②. Upotreba: pri ispitivanju SUS-motora. Naizmjenično punjenje i pražnjenje rezervoara posuda A i B prikazuje ③.

Stapno brojilo ④. Tekućina pokreće stapove I i II, a oni razvodni mehanizam R. Smjer tekućine pokazuju strelice. Broj pomaka stapa, tj. količinu, pokazuje brojilo desno.

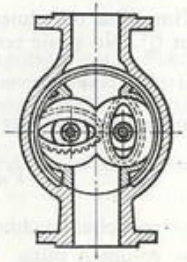
Brojila s elipsastim stapovima ⑤

Primjena: protok gustih tekućina. Sva navedena brojila mjere do 120 m³/h i koriste se kinetičkom energijom medija.





④ Stapno brojilo



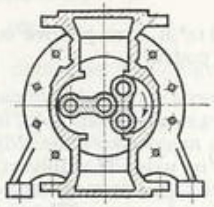
⑤ Brojilo s elipsastim stapovima

3 — Plinovite tvari

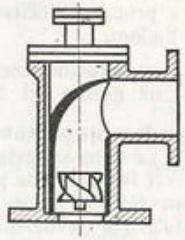
Brojila s okretnim stapovima ⑥. Pri predtlaku od 30 mm s.v. mogu mjeriti do 30,000 m³/min. Male količine plina mjere plinske ure s mjehovima.

Brojila s mjernim krilcima

Okrugla krilca ugrađujemo aksijalno u tok strujanja ⑦. Krilca se koriste kinetičkom energijom medija uz minimalan pad tlaka otprilike 1 mm s.v.



⑥ Brojilo s okretnim stapovima



⑦ Brojilo s mjernim krilcima

Mjerenje protoka na principu diferencijalnog pritiska

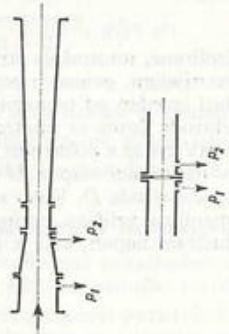
Ugradnjom suženja u cijevovodu postiže se razlika pritisaka ispred suženja i iza njega. Ta razlika pritisaka služi kao mjera za protok medija prema približnoj relaciji:

$$Q = K\sqrt{p_1 - p_2}$$

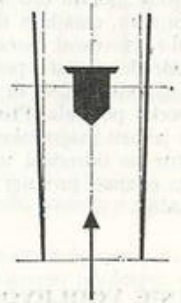
gdje je K konstanta, zavisna o gustoći medija, o omjeru promjera D i d, o temperaturi i dr. Radi suženja ugrađuju se u cjevovod prigušnice, sapnice ili Venturijeve cijevi ⑧.

Prigušnice se izvode za NO 40 do NO 1 000 i za odnose $m = d/D$ od 0,05 do 0,7.

Venturijeve cijevi su skuplje, ali je pad pritiska na njima vrlo malen pa zbog prilagođenosti strujanju, mjerenja daju točnije rezultate. Te su cijevi normirane i izrađuju se u normalnoj i skraćenoj izvedbi. Pri mjerenju protoka zraka u zračnim kanalima izvode se Venturijeva suženja i s kvadratnim presjecima. Diferencijalni pritisak dobiven na suženju cjevovoda mjeri se uređajima za mjerenje diferencijalnog pritiska.



⑧ Prigušnica — Venturijeva cijev



⑨ Rotametar

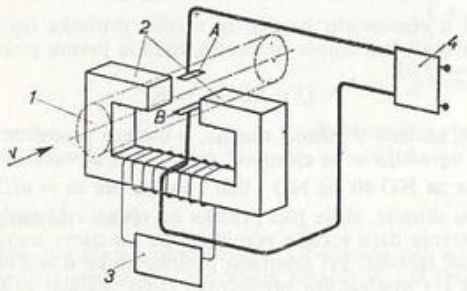
Rotametar

Mjerenje se temelji na načelu sile teže koju izaziva strujanje medija i težina lebdećeg tijela. Ako se strujanje usmjeri kroz vertikalnu staklenu cijev odozdo prema gore, ta sila može svladati težinu prikladnog tijela koje se nalazi u koničnom dijelu cijevi ⑨, pa

tijelo lebdi na većoj ili manjoj visini koničnog dijela cijevi, ovisno o protoku mjerenog medija. Staklena cijev je kalibrirana i neposredno se očitava momentani protok. Tijelo stalno rotira da bi se osigurao ispravan rad mjerača. Položaj tijela ovisi ne samo o brzini strujanja nego i o specifičnoj težini medija. Za veće pritiske se konična cijev izrađuje od metala, a protok se očitava na instrumentu, čija je kazaljka magnetski spregnuta s lebdećim tijelom.

Mjerni opseg za tekućine iznosi 0,000 5 m³/h do 80 m³/h, a za plinove od 0,000 1 m³/h do 800 m³/h uz grešku od 2 do 2,5% mjernog područja.

Induktivno mjerenje protoka zasniva se na Faradayevu zakonu elektromagnetske indukcije, koji kaže da se na krajevima vodiča koji se giba u magnetskom polju inducira napon. Ovaj je to veći što je brzina gibanja veća, uz stalno magnetsko polje. Mjerenje protoka tom metodom može se izvesti samo za tekućine, i to uz uvjet da vidljivost tekućine bude dovoljno velika. Na cjevovod se postavi elektromagnet, čije je magnetsko polje okomito na smjer strujanja medija. Okomito na oba ova smjera postave se elektrode A i B, koje skidaju inducirani napon ⑩.



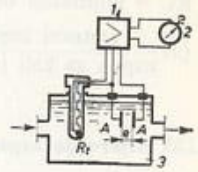
⑩ Induktivno mjerenje protoka (1 – cijev, 2 – elektromagnet, 3 – napajanje elektromagneta, 4 – mjerni uređaj, A i B – elektrode)

Kako elektrode moraju biti međusobno električki izolirane, unutrašnja strana cjevovoda oblaže se gumom, emajlom ili nekim plastičnim materijalom, ovisno o pogonskim uvjetima. Nadalje, cjevovod mora na mjestu mjerenja biti izveden od nemagnetskog materijala, npr. određene vrste prokroma. Za izradu elektroda često se upotrebljava platina. Inducirani naponi obično su reda veličine nekoliko mV pa se s pokaznim instrumentom povezuju preko pojačala. Prema izrazu $U = H\,D\,v$ inducirani napon U ovisi o brzini medija v, o jakosti magnetskog polja H i o promjeru cjevovoda D. Kako su veličine H i D konstantne za određeni uređaj, jedina je promjenljiva veličina brzine medija v, a odatle se uz poznati promjer cjevovoda dobiva inducirani napon, koji je ovisan samo o protoku medija.

3.12 MJERENJE VODLJIVOSTI

Vodljivost tekućine mjeri se radi određivanja kvalitete tekućine za ispravno odvijanje tehnološkog procesa. Na primjer, u pripremi vode za kotlovsko postrojenje i na parovodu između bubnja i pregrijača često se mjeri vodljivost vode, odnosno pare jer se time kontrolira sadržaj soli u vodi, odnosno pari. Vodljivost je ovisna o sadržaju soli, kiselina i lužina. Definirana je kao recipročna vrijednost električkog otpora pa se zapravo mjerenjem otpora određuje vodljivost.

Vodljivost se mjeri prema shemi prikazanoj na ①. U ispitnoj komori postavljene su elektrode površine A na međusobnoj udaljenosti e. U istoj komori ugrađen je otporni termometar R_t, kojim se uzima u obzir utjecaj temperature na vodljivost jer se promjenom temperature elektrolita znatno mijenja specifičan otpor ρ.



① Mjerenje vodljivosti (1 – pojačalo, 2 – mjerni instrument, 3 – protočna posuda)

Iz izraza za otpor:

$R = \rho \cdot e/A$ dobiva se za vodljivost izraz:

$$\Lambda = \frac{1}{R} = \frac{A}{\rho \cdot e} = \frac{\alpha \cdot A}{e},$$ gdje je α specifična vodljivost, tj.

$$\alpha = \frac{e}{R \cdot A}\left[\frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\text{cm}} = A/\text{cm}\right]$$

Uobičajeni iznos specifične vodljivosti napojne vode za kotlove iznosi ispod 10 μS/cm. Vodljivost 1/μS/cm odgovara sadržaju soli NaCl od 0,5 mg u litri destilirane vode. Kalcijeve soli daju nešto manju vodljivost, a izrazito manju vodljivost daju otopine natrijeve lužine, sumporne i klorovodične kiseline.

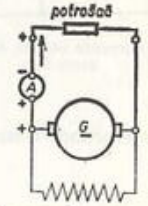
3.13 ELEKTRIČNA MJERENJA

3.131 Mjerenje jakosti istosmjerne struje

① prikazuje mjerenje struje u krugu potrošača istosmjerne struje.

Ampermetar mora odgovarati najvećoj struji ili ga moramo šantirati. To je instrument sa slobodno zakretnim svitkom u polju permanentnog magneta. Oznake: —, ⏦. Pažnju treba obratiti ispravnom spajanju polariteta prema shemi.

Šantiranje ampermetra. To je paralelno priključivanje otpornika ampermetru, čime se proširuje mjerno područje.



① Mjerenje istosmjerne struje (A)

$R_{\text{šanta}} = \frac{R_{\text{ampermetra}}}{\text{n} - 1}$, gdje je:

$R_{\text{šanta}}$ = otpor šanta u omima

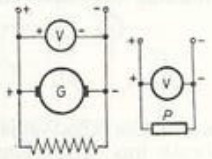
R_a = otpor ampermetra u omima

n = omjer $\frac{\text{maksimalna struja, koju želimo mjeriti } (I_m)}{\text{maksimalna dopuštena struja ampermetra } (I_a)}$

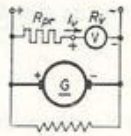
3.132 Mjerenje napona istosmjerne struje

Instrument: voltmetar sa slobodno zakretnim svitkom u polju stalnog magneta ili s mekim željezom ili elektrodinamički i elektrostatički.

Voltmetar priključujemo paralelno izvoru napona ②. Pri spajanju treba paziti na polaritet. Ako voltmetar ne odgovara mjernom području, dodajemo predotpor R_{pr} ③.



② Mjerenje napona (V)

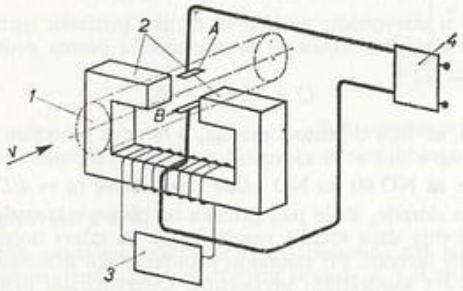


③ Mjerenje napona (V) s predotporom

tijelo lebdi na većoj ili manjoj visini koničnog dijela cijevi, ovisno o protoku mjerenog medija. Staklena cijev je kalibrirana i neposredno se očitava momentani protok. Tijelo stalno rotira da bi se osigurao ispravan rad mjerača. Položaj tijela ovisi ne samo o brzini strujanja nego i o specifičnoj težini medija. Za veće pritiske se konična cijev izrađuje od metala, a protok se očitava na instrumentu, čija je kazaljka magnetski spregnuta s lebdećim tijelom.

Mjerni opseg za tekućine iznosi 0,000 5 m³/h do 80 m³/h, a za plinove od 0,000 1 m³/h do 800 m³/h uz grešku od 2 do 2,5% mjernog područja.

Induktivno mjerenje protoka zasniva se na Faradayevu zakonu elektromagnetske indukcije, koji kaže da se na krajevima vodiča koji se giba u magnetskom polju inducira napon. Ovaj je to veći što je brzina gibanja veća, uz stalno magnetsko polje. Mjerenje protoka tom metodom može se izvesti samo za tekućine, i to uz uvjet da vidljivost tekućine bude dovoljno velika. Na cjevovod se postavi elektromagnet, čije je magnetsko polje okomito na smjer strujanja medija. Okomito na oba ova smjera postave se elektrode A i B, koje skidaju inducirani napon ⑩.



⑩ Induktivno mjerenje protoka (1 – cijev, 2 – elektromagnet, 3 – napajanje elektromagneta, 4 – mjerni uređaj, A i B – elektrode)

Kako elektrode moraju biti međusobno električki izolirane, unutrašnja strana cjevovoda oblaže se gumom, emajlom ili nekim plastičnim materijalom, ovisno o pogonskim uvjetima. Nadalje, cjevovod mora na mjestu mjerenja biti izveden od nemagnetskog materijala, npr. određene vrste prokroma. Za izradu elektroda često se upotrebljava platina. Inducirani naponi obično su reda veličine nekoliko mV pa se s pokaznim instrumentom povezuju preko pojačala. Prema izrazu $U = H\,D\,v$ inducirani napon U ovisi o brzini medija v, o jakosti magnetskog polja H i o promjeru cjevovoda D. Kako su veličine H i D konstantne za određeni uređaj, jedina je promjenljiva veličina brzine medija v, a odatle se uz poznati promjer cjevovoda dobiva inducirani napon, koji je ovisan samo o protoku medija.

3.12 MJERENJE VODLJIVOSTI

Vodljivost tekućine mjeri se radi određivanja kvalitete tekućine za ispravno odvijanje tehnološkog procesa. Na primjer, u pripremi vode za kotlovsko postrojenje i na parovodu između bubnja i pregrijača često se mjeri vodljivost vode, odnosno pare jer se time kontrolira sadržaj soli u vodi, odnosno pari. Vodljivost je ovisna o sadržaju soli, kiselina i lužina. Definirana je kao recipročna vrijednost električkog otpora pa se zapravo mjerenjem otpora određuje vodljivost.

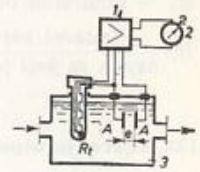
Vodljivost se mjeri prema shemi prikazanoj na ①. U ispitnoj komori postavljene su elektrode površine A na međusobnoj udaljenosti e. U istoj komori ugrađen je otporni termometar R_t, kojim se uzima u obzir utjecaj temperature na vodljivost jer se promjenom temperature elektrolita znatno mijenja specifičan otpor ρ.

Iz izraza za otpor:

$R = \rho \cdot e/A$ dobiva se za vodljivost izraz:

$\Lambda = \frac{1}{R} = \frac{A}{\rho \cdot e} = \frac{\alpha \cdot A}{e}$, gdje je α specifična vodljivost, tj.

$\alpha = \frac{e}{R \cdot A}\left[\frac{1}{O} \cdot \frac{1}{\text{cm}} = A/\text{cm}\right]$



① Mjerenje vodljivosti (1 – pojačalo, 2 – mjerni instrument, 3 – protočna posuda)

Uobičajeni iznos specifične vodljivosti napojne vode za kotlove iznosi ispod 10 μS/cm. Vodljivost 1/μS/cm odgovara sadržaju soli NaCl od 0,5 mg u litri destilirane vode. Kalcijeve soli daju nešto manju vodljivost, a izrazito manju vodljivost daju otopine natrijeve lužine, sumporne i klorovodične kiseline.

3.13 ELEKTRIČNA MJERENJA

3.131 Mjerenje jakosti istosmjerne struje

① prikazuje mjerenje struje u krugu potrošača istosmjerne struje.

Ampermetar mora odgovarati najvećoj struji ili ga moramo šantirati. To je instrument sa slobodno zakretnim svitkom u polju permanentnog magneta. Oznake: —, ⏀. Pažnju treba obratiti ispravnom spajanju polariteta prema shemi.

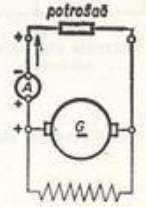
Šantiranje ampermetra. To je paralelno priključivanje otpornika ampermetru, čime se proširuje mjerno područje.

$R_{\text{šanta}} = \frac{R_{\text{ampermetra}}}{n - 1}$, gdje je:

$R_{\text{šanta}}$ = otpor šanta u omima

R_a = otpor ampermetra u omima

n = omjer $\frac{\text{maksimalna struja, koju želimo mjeriti } (I_m)}{\text{maksimalna dopuštena struja ampermetra } (I_a)}$

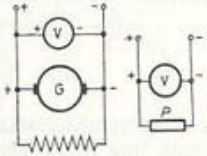


① Mjerenje istosmjerne struje (A)

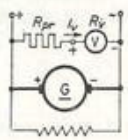
3.132 Mjerenje napona istosmjerne struje

Instrument: voltmetar sa slobodno zakretnim svitkom u polju stalnog magneta ili s mekim željezom ili elektrodinamički i elektrostatički.

Voltmetar priključujemo paralelno izvoru napona ②. Pri spajanju treba paziti na polaritet. Ako voltmetar ne odgovara mjernom području, dodajemo predotpor R_{pr} ③.



② Mjerenje napona (V)



③ Mjerenje napona (V) s predotporom

$R_{pr} = R_v \cdot (n - 1)$

R_{pr} = otpor predotpora u omima

R_v = unutrašnji otpor voltmetra

$(n) = \frac{\text{sastavni napon strujnog kruga}}{\text{napon za koji je voltmetar predviden}}$

3.133 Mjerenje otpora

U I metoda

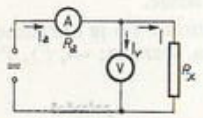
Mjerimo voltmetrom i ampermetrom prema ④ i ⑤.

Iz ④ slijedi:

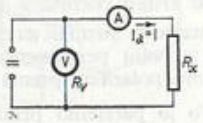
$$R_x = \frac{U}{I_a - \frac{U}{R_v}}.$$

Iz ⑤ slijedi:

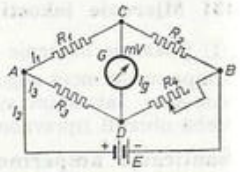
$$R_x = \frac{U}{I} - R_a,$$



④ Mjerenje otpora omskom metodom



⑤ Mjerenje otpora metodom napon — struja



⑥ Wheatstoneov most

Wheatstoneov most ⑥. Lijeva grana mosta:

$$R_1 \cdot i_1 = R_3 \cdot i_2$$

Desna grana mosta:

$$R_2 \cdot i_1 = R_4 \cdot i_2$$

Dijeljenjem tih dviju jednadžbi proizlazi:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ ili } \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

Ako umjesto poznatog otpornika R_3 preklopkom ubacimo nepoznati otpornik R_x, vrijednost nepoznatog otpornika jest:

$$R_x = R_4 \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Postupak pri mjerenju. Ponovnu ravnotežu mosta nakon ubacivanja otpornika R_x postižemo promjenljivim otpornikom R_4. Taj otpornik ima ispod dugmeta zacrtanu skalu u omima.

3.134 Mjerenje snage istosmjerne struje

Snaga istosmjerne struje: $P = U \cdot I$ (W). Mjerimo je vatmetrima. Svaki vatmetar mora imati strujnu i naponsku granu.

Snaga generatora pri spajanju ⑦

$$P = P_o + \frac{U^2}{R_w} \text{ (W)}$$

Ovdje je:

U = napon generatora ili potrošača

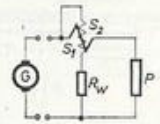
P = stvarna snaga generatora

P_o = snaga očitana na vatmetru

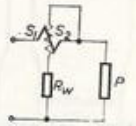
I = struja generatora ili potrošača

R_w = otpor naponske grane vatmetra

r_w = otpor strujne grane vatmetra (deblje izvučena).



⑦ Snaga generatora



⑧ Snaga potrošača

Snaga potrošača:

$$P = P_o - I^2 \cdot r_w \text{ (W)}$$

Ako mjerimo snagu potrošača, spojit ćemo vatmetar prema ⑧.

Snaga potrošača:

$$P = P_o - \frac{U^2}{R_w}$$

Snaga generatora:

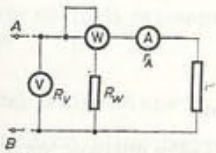
$$P = P_o + I^2 \cdot r_w \text{ (W)}$$

3.135 Mjerenje snage jednofaznog potrošača izmjenične struje

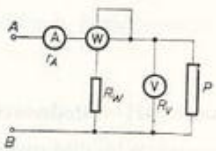
Snagu ćemo izmjeriti vatmetrom za izmjeničnu struju prema ⑨ i ⑩.

Osim vatmetra potrebno je imati i voltmetar i ampermetar za izmjeničnu struju. Voltmetrom i ampermetrom određujemo tzv. faktor snage $\cos \varphi$.

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$$



⑨ Snaga generatora



⑩ Snaga potrošača

Snaga generatora i $\cos\varphi$ prema shemi ⑨:

$$P = P_0 + \frac{U^2}{R_w} + \frac{U^2}{R_v}$$

Snaga potrošača:

$$P = P_0 - I^2 \cdot r_w - I^2 \cdot r_A$$

Za snagu potrošača iz sheme ⑩ proizlazi:

$$P = P_0 - \frac{U^2}{R_w} - \frac{U^2}{R_v}$$

a snaga generatora:

$$P = P_0 + I^2 \cdot r_A + I^2 \cdot r_w$$

Snaga izmjenične struje:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

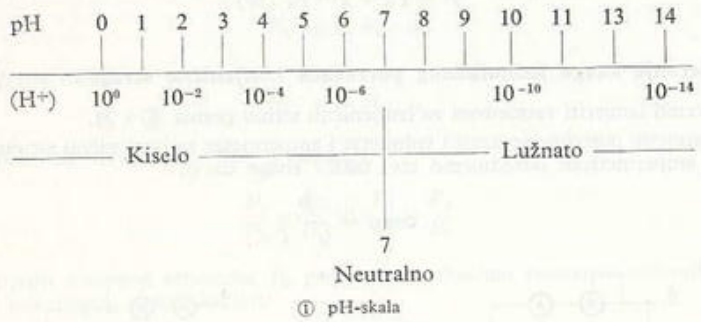
3.14 MJERENJE pH-VRIJEDNOSTI

pH je mjera za kiselost (aciditet) ili lužnatost (alkalitet) vodene otopine.

Kiseline u otopinama sadržavaju vodikove ione (H^+), a lužine hidroksil-ione (OH^-). Upravo o koncentraciji (H^+) ili (OH^-) iona ovisi jačina kiseline ili lužine.

Ta je koncentracija izvanredno mala i nije prikladna za računanje rezultata, a može poprimiti iznos od $1/10^{\circ}$ do 10^{-14} mol/l. Zbog jednostavnosti uzima se za pH-vrijednost eksponent te veličine, dakle bezdimenzionalan broj od 0 do 14.

Koncentraciju iona od 1/10 000 000 možemo pisati kao 10^{-7}. Otopina koja bi imala takvu koncentraciju iona daje pH-7, tj. neutralna otopina, ni kisela ni lužnata. Što je koncentracija H^+ iona veća, to je pH manji. Ukupno područje pH-skale kreće se prema ①.



① pH-skala

3.141 Mjerenje pH-vrijednosti lakmusovim papirom

Lakmusov papir u kiselini pocrveni, a u lužini poplavi. Takvo mjerenje samo je informativno i nije točno.

3.142 Mjerenje kolorimetarskim papirom

Postupak je sličan onome pri mjerenju lakmusovim papirom, samo je mnogo točniji. Komadić pH-trake uronjen u otopinu poprima jednu od boja označenih na poklopcu kutije. Svaka boja odgovara nekom pH i označena je brojem.

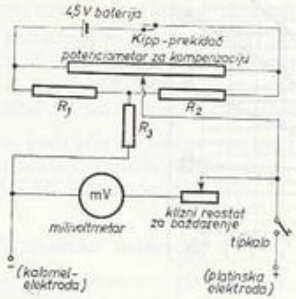
Točnost mjerenja je 1, 0,5 do 0,2 pH.

3.143 Mjerenje pH-metrima

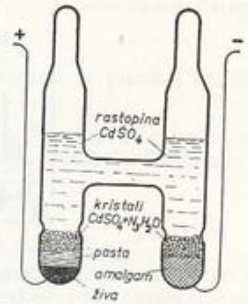
Kompenzacijski pH-metar prikazan je na ②.

Napon sa stezaljki elektrodnog para izjednačuje se s naponom dobivenim iz baterije preko kompenzacijskog potenciometra.

Prije početka mjerenja radi baždarenja umjesto mjernih elektroda priključujemo Wheatstoneov normal-element ③.



② Kompenzacijski pH-metar



③ Wheatstoneov normal-element

Wheatstoneov normal-element napunjen je otopinom koja je zasićena kadmijevim sulfatom i ima uvijek stalan napon od 1,018 3 V. Taj napon ovisi o temperaturi i može se korigirati prema jednadžbi:

$$U_n = 1{,}018\,3 - 4{,}06 \cdot 10^{-5} \cdot (t - 20) - 9{,}5 \cdot 10^{-7} \cdot (t - 20)^2 + 1 \cdot 10^{-8}\,(t - 20)^3$$

U novije vrijeme pH-vrijednosti se mjere elektronskim pH-metrima. Napon dobiven s mjerne i poredbene elektrode mjeri se po načelu cijevnog voltmetra.

3.144 Mjerne elektrode

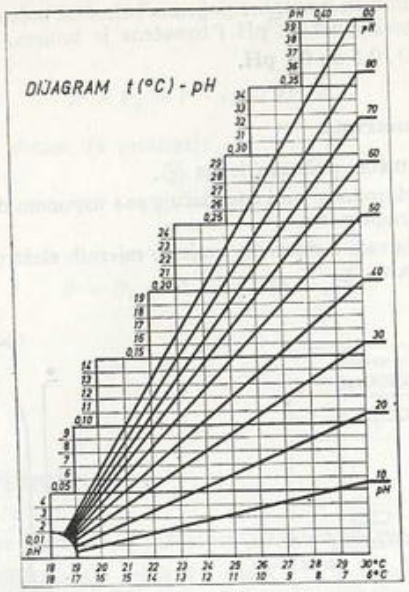
Elektrodni par sastoji se od poredbene i mjerne elektrode. Poredbena elektroda (kalomel) uvijek je ista. Mjerna elektroda je uvjetovana djelomično vrstom otopine i pH-vrijednošću otopine. Najšire područje primjene (do 1 000°C) ima tzv. staklena elektroda, ali samo kod elektronskih pH-metara.

Ostale vrste elektroda za kompenzacijske pH-metre: vodikova, hinhidronova, kadmijeva, bizmutova.

3.145 Utjecaj temperature

Kod elektronskih pH-metara temperaturnu korekciju uzimamo u obzir podešavanjem korekcionog temperaturnog potenciometra.

Za kompenzacijske pH-metre temperaturnu korekciju obavljamo poslije mjerenja upotrebom jednadžbi ili dijagrama kao, na primjer, za hinhidronovu elektrodu ④.



④ Dijagram t (°C) – pH

3.146 Postupak pri mjerenju

Donji krajevi elektroda moraju biti uronjeni u otopinu 10—12 mm. Posebnu pažnju treba posvetiti polaritetu spajanja: (– pol) kalomel-elektroda, (+ pol) mjerna elektroda. Ostalo prema uputama tvornice koja je proizvela pH-metar.

3.15 ANALIZA PLINOVA

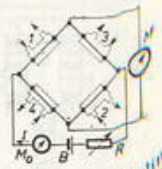
Analiza plinova mnogo se primjenjuje za kontrolu proizvodnih procesa u industriji, napose kemijskoj. U termoenergetici uobičajena je kontrola izgaranja goriva u ložištu kotla mjerenjem sadržaja CO_2, CO i O_2.

Jedinice su g/m³, postotak volumnog udjela i postotak udjela mase. Izražavanje u postotku volumnog udjela ima tu prednost što nije ovisno o pritisku i temperaturi plina.

Analiza se obavlja kemijskim ili fizikalnim metodama. Za kemijske metode uzima se u određenim vremenskim razmacima uzorak, tj. stanovita količina plina, pa se podvrgava analizi. Kod analizatora na fizikalnoj osnovi analiza se obavlja kontinuirano, što je pogodno za mjerenja, odnosno za regulacije u industriji. Za mjerenje se iskorišćuje ono fizikalno svojstvo plina (npr. toplinska vodljivost, para, magnetizam itd.) koje je za taj plin karakteristično uopće ili bar u odnosu prema ostalim komponentama u plinskoj smjesi koja se podvrgava analizi.

3.151 Mjerenje na bazi toplinske vodljivosti plinova

U četiri komore prema ①, razapete su žarne niti, npr. od platine, čiji je električki otpor ovisan o temperaturi. Te niti spojene su u Wheatstoneov most, koji se napaja iz električnog izvora B. Reostatom R podešava se struja koja protječe granom mosta i zagrijava žarne niti. Kroz komore 1 i 4 struji referentni plin, npr. zrak, a kroz komore 2 i 3 smjesa plinova koja se analizira i odvodi toplinu sa žarnih niti, ovisno o toplinskoj vodljivosti plinske smjese. Svi plinovi smjese imaju podjednaku toplinsku vodljivost, osim plina koji se mjeri (npr. CO_2), čija se toplinska vodljivost bitno razlikuje pa ukupna vodljivost smjese ovisi samo o udjelu plina koji se mjeri. Zbog različitosti odvoda topline u mjernim i referentnim komorama nastat će razlika temperature na žarnim nitima, a uslijed toga i razlika njihovih električkih otpora. Zato se na izlazu mosta pojavljuje struja proporcionalna s udjelom mjerenog plina u plinskoj smjesi.



① Analiza plina na bazi toplinske vodljivosti (1, 2 – mjerne komore za plin, 3, 4 – referentne komore, M – mjerni instrument, kontrolni instrument, R – otpornik za podešavanje struje, B – izvor istosmjerne struje)

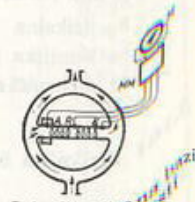
Tom metodom mjeri se sadržaj ugljičnog dioksida CO_2, vodika H_2, amonijaka NH_3 i sumpornog dioksida SO_2. Nekada se s obzirom na agresivnost pojedinih komponenti u plinskoj smjesi žarne niti zaštićuju od korozije staklenim cjevčicama.

Mjerna područja izvode se sve do 100% volumnog udjela. Uobičajeno mjerno područje CO_2 u analizi dimnih plinova je 0—20% volumnog udjela. Greške pri mjerenju iznose oko ±2,5% mjernog područja.

3.152 Magnetsko mjerenje

Iskorišćuje se svojstvo kisika, što u odnosu prema drugim plinovima pokazuje izrazita paramagnetička svojstva, tj. molekule kisika se u magnetskom polju magnetiziraju i sila privlačenja uvlači ih dublje u područje jačeg polja.

Strujanje smjese plinova usmjeruje se kroz kružni prsten s poprečnim spojem prema ②. Na početku te poprečne cijevi postavljen je magnet, koji uvlači čestice kisika. Ovaj struji hladeći otporne namotaje oko poprečne cijevi, koji imaju otpore zavisne o temperaturi i zagrijavaju se strujom koja kroz njih teče. Kako se prvi namotaj hladi više od drugoga, nastaje razlika u temperaturi, a ujedno i razlika u otporu između krajeva A—R i R—E, koja je mjera za količinu kisika u mjernom plinu.



② Analiza plina na bazi paramagnetičnosti

Ti otpori se direktno priključuju na instrument za pokazivanje s križnim svitkom ili se preko mjernog mosta dobiva signal u obliku napona od 0 do 5 mV.

Taj električki signal može dalje služiti za priključak na pokazni instrument ili na regulator.

Promjena u temperaturi okoline utjecala bi na točnost mjerenja, zato se ti uređaji izvode tako da su svi dijelovi koji su osjetljivi na temperaturu smješteni u komoru sa stalnom temperaturom (npr. 60°C).

Strujanje mjernog plina je oko 8 do 20 l/h.

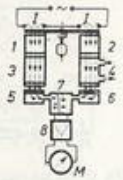
Mjerna područja izvode se u opsegu od 0 do 1 Vol. % O_2 do 0—100 Vol. % O_2 s greškom mjerenja ± 1 do ± 2% mjernog područja.

3.153 Analizator s apsorpcijom infracrvenih zraka

Tom metodom se kontinuirano mjere koncentracije plinova kao što su ugljični monoksid CO, ugljični dioksid CO_2, metan CH_4, zatim C_2H_2, C_2H_6, C_3H_8, N_2O i drugi plinovi čije se molekule sastoje od najmanje dva razna atoma. Plinovi koji se analiziraju

metodom imaju svojstvo da apsorbiraju (upijaju) infracrvene zrake određene valne dužine.

Pulzirajući izvor infracrvenih zraka usmjerava se preko filtarskih komora 1 i 2 na mjernu komoru 4 i na referentnu komoru 3 prema ③.



③ Apsorpcijski analizator (1, 2 — filterske komore, 3 — referentna komora, 4 — mjerna komora, 5, 6 — tlačne komore, 7 — membranski kondenzator, 8 — pojačalo, M — mjerni instrument)

Kroz mjernu komoru struji smjesa plinova, a referentna komora je punjena prikladnim plinom, koji propušta infracrvene zrake. Ovisno o koncentraciji mjerne komponente u smjesi plinova bit će infracrvene zrake u mjernoj komori oslabljene.

Tako će u prijemne komore 5 i 6 dospjeti različite količine infracrvenih zraka, koje će različito zagrijati plin u ta dva prostora. Pritisak plina u jednoj i u drugoj prijemnoj komori ovisi o rastezanju tog plina temperaturom. Membrana 7 zauzet će neki položaj zavisan o razlici pritisaka i tako stvarati električki kapacitet prema rešetki 8. Taj kapacitet bit će mjera za koncentraciju promatrane komponente plina.

Kapacitet se dalje prenosi odgovarajućim elektronskim uređajem na mjerni instrument M.

Mjerni opseg za sve navedene plinove obuhvaća područja od 0 do 0,05 Vol.% do 0—100 Vol.%.

Greška mjerenja je ± 2 do ± 3% mjernog područja.

3.16 ISPITIVANJE MAZIVIH ULJA I MASTI

Maziva ulja i masti dijele se:

— na fizikalna
— na kemijska i
— na mehanička.

3.161 Fizikalna ispitivanja

3.161.1 Specifična težina

Određivanje specifične težine.

Brzo je određujemo areometrom s ugrađenim termometrom ① (vidi 3.02). U Evropi se specifična težina ulja određuje pri 15°C, u Americi pri 60°F (15,6°C)

① Areometar s termometrom

A. P. I.-težina. Jednostavnije izražavanje specifične težine prema američkom sistemu daje okrugle brojeve bez decimala prema izrazu:

$$\text{A. P. I.-težina} = \frac{\text{specifična težina } (60/60)\ ^\circ\text{F}}{141{,}5} - 131{,}5.$$

Pretvaranje vrijednosti specifičnih težina u A. P. I.-stupnjeve:

Pretvaranje A. P. I. — Specifična težina Tablica 1.

A. P. I.	Specifična težina 15, 6/15 6 °C	A. P. I.	Specifična težina 15, 6/15 6 °C	A. P. I.	Specifična težina 15, 6/15 6 °C
10,0	1,000 0	15,0	0,965 9	20,0	0,934 0
10,1	0,999 3	15,1	0,965 2	20,1	0,933 4
10,2	0,998 6	15,2	0,964 6	20,2	0,932 8
10,3	0,997 9	15,3	0,963 9	20,3	0,932 1
10,4	0,997 2	15,4	0,963 2	20,4	0,931 5
10,5	0,996 5	15,5	0,962 6	20,5	0,930 9
10,6	0,995 8	15,6	0,961 9	20,6	0,030 3
10,7	0,995 1	15,7	0,961 3	20,7	0,929 7
10,8	0,994 4	15,8	0,960 6	20,8	0,929 1
10,9	0,993 7	15,9	0,960 0	20,9	0,928 5
11,0	0,993 0	16,0	0,959 3	21,0	0,927 9
11,1	0,992 3	16,1	0,958 7	21,1	0,927 3
11,2	0,991 6	16,2	0,958 0	21,2	0,926 7
11,3	0,990 9	16,3	0,957 4	21,3	0,926 0
11,4	0,990 2	16,4	0,956 7	21,4	0,925 4
11,5	0,989 5	16,5	0,956 1	21,5	0,924 8
11,6	0,988 8	16,6	0,955 4	21,6	0,924 2
11,7	0,988 1	16,7	0,954 8	21,7	0,923 6
11,8	0,987 4	16,8	0,954 1	21,8	0,923 0
11,9	0,986 8	16,9	0,953 5	21,9	0,922 4
12,0	0,986 1	17,0	0,952 9	22,0	0,921 8
12,1	0,985 4	17,1	0,952 2	22,1	0,921 2
12,2	0,984 7	17,2	0,951 6	22,2	0,920 6
12,3	0,984 0	17,3	0,950 9	22,3	0,920 0
12,4	0,983 3	17,4	0,950 3	22,4	0,919 4
12,5	0,982 6	17,5	0,949 7	22,5	0,918 8
12,6	0,982 0	17,6	0,949 0	22,6	0,918 2
12,7	0,981 3	17,7	0,948 4	22,7	0,917 6
12,8	0,980 6	17,8	0,947 8	22,8	0,917 0
12,9	0,979 9	17,9	0,947 1	22,9	0,916 5
13,0	0,972 9	18,0	0,046 5	23,0	0,915 9
13,1	0,978 6	18,1	0,945 9	23,1	0,915 3
13,2	0,977 9	18,2	0,945 2	23,2	0,914 7
13,3	0,977 2	18,3	0,944 6	23,3	0,914 1
13,4	0,976 5	18,4	0,944 0	23,4	0,913 5
13,5	0,975 9	18,5	0,943 3	23,5	0,912 9
13,6	0,975 2	18,6	0,942 7	23,6	0,912 3
13,7	0,974 5	18,7	0,942 1	23,7	0,911 7
13,8	0,973 8	18,8	0,941 5	23,8	0,911 1
13,9	0,973 2	18,9	0,940 8	23,9	0,910 6
14,0	0,972 5	19,0	0,940 2	24,0	0,910 0
14,1	0,971 8	19,1	0,939 6	24,1	0,909 4
14,2	0,971 2	19,2	0,939 0	24,2	0,908 8
14,3	0,970 5	19,3	0,938 3	24,3	0,908 2
14,4	0,969 8	19,4	0,937 7	24,4	0,907 6
14,5	0,969 2	19,5	0,937 1	24,5	0,907 1
14,6	0,968 5	19,6	0,936 5	24,6	0,906 5
14,7	0,967 9	19,7	0,935 8	24,7	0,905 9
14,8	0,967 2	19,8	0,935 2	24,8	0,905 3
14,9	0,966 5	19,9	0,934 6	24,9	0,904 7

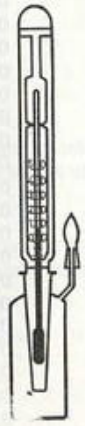
(nastavak) Tablica 1.

A. P. I.	Specifična težina 15, 6/15 6 °C	A. P. I.	Specifična težina 15, 6/15 6 °C	A. P. I.	Specifična težina 15, 6/15 6 °C
25,0	0,904 2	28,1	0,886 6	31,2	0,869 7
25,1	0,903 6	28,2	0,886 0	31,3	0,869 2
25,2	0,903 0	28,3	0,885 5	31,4	0,868 6
25,3	0,902 4	28,4	0,884 9	31,5	0,869 1
25,4	0,901 8	28,5	0,884 4	31,6	0,867 6
25,5	0,901 3	28,6	0,883 8	31,7	0,867 0
25,6	0,900 7	28,7	0,883 3	31,8	0,866 5
25,9	0,899 0	28,8	0,882 7	31,9	0,866 0
26,0	0,898 4	28,9	0,882 2	32,0	0,965 4
26,1	0,898 7	29,0	0,881 6	32,1	0,864 9
26,2	0,897 3	29,1	0,881 1	32,2	0,864 4
26,3	0,896 1	29,2	0,880 5	32,3	0,863 9
26,4	0,896 1	29,3	0,880 0	32,4	0,963 3
26,5	0,895 6	29,4	0,879 4	32,5	0,862 8
26,6	0,895 0	29,5	0,878 9	32,6	0,862 3
26,7	0,894 4	29,6	0,878 3	32,7	0,861 8
26,8	0,893 9	29,7	0,877 8	32,8	0,861 2
26,9	0,893 3	29,8	0,877 2	32,9	0,860 7
27,0	0,829 7	30,1	0,875 6	33,0	0,860 2
27,1	0,892 2	30,2	0,875 1	33,1	0,859 7
27,2	0,891 6	30,3	0,874 5	33,2	0,859 1
27,3	0,891 1	30,4	0,874 0	33,3	0,858 6
27,4	0,890 5	30,5	0,873 5	33,4	0,858 1
27,5	0,889 9	30,6	0,872 9	33,5	0,857 6
27,6	0,889 4	30,7	0,872 4	33,6	0,857 1
27,7	0,888 8	30,8	0,871 8	33,7	0,856 5
27,8	0,888 3	30,9	0,871 3	33,8	0,856 0
27,9	0,887 7	31,0	0,870 8	33,9	0,855 5
28,0	0,887 1	31,1	0,870 2	34,0	0,855 0

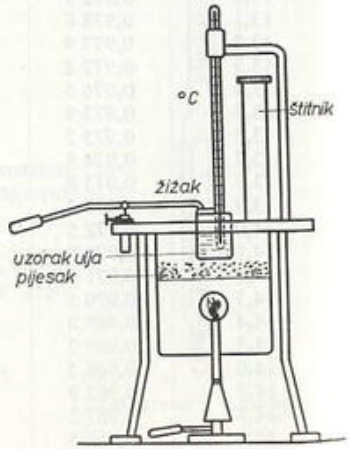
Točnije određujemo specifičnu težinu piknometrom s ugrađenim termometrom ② (vidi 3.02).

3.161.2 Točka plamišta i točka gorišta

Plamište je temperaturna točka kod koje se najisparljivije komponente ulja zapale prvi put, gore 2—3 sekunde, a zatim se ugase. Plamište i gorište određujemo aparatom po Marcussonu ③. Temperaturna razlika između točke plamišta i točke gorišta za motorna ulja iznosi otprilike 15—25°C.



② Piknometar s termometrom



③ Marcussonov aparat

Temperature plamišta naftinih derivata

Benzin	ispod 17°C
Petrolej	46— 86°C
Lako mineralno ulje	150—200°C
Teško mineralno ulje	200—250°C
Cilindarsko ulje	250—330°C

3.161.3 Viskozitet

Viskozitet tekućina je otpor pri pomicanju čestica zbog unutarnjeg trenja.

Apsolutni viskozitet. To je sila potrebna da se sloj tekućine površine 1 cm² pomakne preko jednako velikog drugog sloja u udaljenosti od 1 cm brzine od 1 cm/s.

Dinamički viskozitet: 1 P (poise) $= \frac{\text{din} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$ (c-g-s).

U međunarodnom sistemu: 1 P $= \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = \eta$.

Stoti dio P je centipoise (cP).

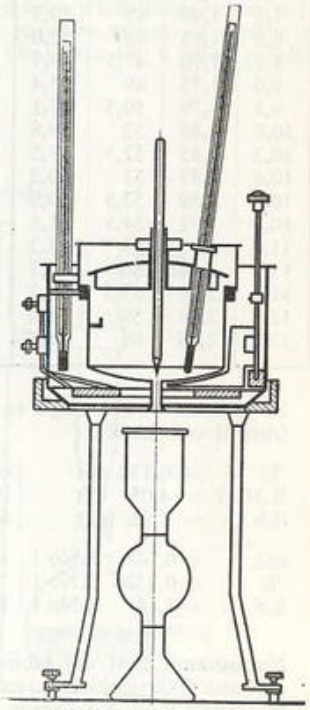
Kinematički viskozitet. U praksi je komplicirano određivanje dinamičkog viskoziteta pa viskozitet određujemo na bazi istjecanja ulja uslijed vlastite težine. Tako dobivamo kinematski viskozitet S_t (stokes) i cS_t (centistokes).

$$1\ cS_t = \frac{1\ cP}{\rho} \quad \text{gdje je } \rho = \frac{m}{V}$$

ρ = gustoća (kg/m³) ili (kps²/m⁴).

U praksi mjerimo viskozitet tipiziranim aparatima — viskozimetrima, u Englerovim stupnjevima (°E), u Redwoodovim sekundama (R. No. 1) i u Saybolt-ovim sekundama universal (S.S.U).

Englerov viskozimetar prikazuje ④.



④ Englerov viskozimetar

$$°E = \frac{\text{vrijeme istjecanja 200 ml ulja}}{\text{vrijeme istjecanja 200 ml destilirane vode}}$$ pri istoj temperaturi.

Preračunavanje °E, cSt, R.No1, S.S.U.

Preračunavanje jedinica viskoznosti Tablica 2.

cSt	°E	R.No 1	S.S.U.	cSt	°E	R.No 1	S.S.U.	cSt	°E	R.No 1	S.S.U.
1,0	1,00	28,5		13,0	2,12	61	69,6	29	3,95	121	136,5
1,5	1,06	30		13,5	2,17	63	71,5	30	4,1	125	140,9
2,0	1,12	31	32,6	14,0	2,22	64,5	73,4	31	4,2	129	145,3
2,5	1,17	32	34,4	14,5	2,27	66	75,3	32	4,35	133	149,7
3,0	1,22	33	36,0	15,0	2,32	68	77,2	33	4,45	136	154,2
3,5	1,26	34,5	37,6	15,5	2,38	70	79,2	34	4,6	140	158,7
4,0	1,30	35,5	39,1	16,0	2,43	71,5	81,1	35	4,7	144	163,2
4,5	1,35	37	40,7	16,5	2,5	73	83,1	36	4,85	148	167,7
5,0	1,40	38	42,3	17,0	2,55	75	85,1	37	4,95	152	172,2
5,5	1,44	39,5	43,9	17,5	2,6	77	87,1	38	5,1	156	176,7
6,0	1,48	41	45,5	18,0	2,65	78,5	89,2	39	5,2	160	181,2
6,5	1,52	42	47,1	18,5	2,7	80	91,2	40	5,35	164	185,7
7,0	1,56	43,5	48,7	19,0	2,75	82	93,3	41	5,45	168	190,2
7,5	1,60	45	50,3	19,5	2,8	84	95,4	42	5,6	172	194,7
8,0	1,65	46	52,0	20,0	2,9	86	97,5	43	5,75	177	199,2
8,5	1,70	47,5	53,7	20,5	2,95	88	99,6	44	5,85	181	203,8
9,0	1,75	49	55,4	21,0	3,0	90	101,7	45	6,0	185	208,4
9,5	1,79	50,5	57,1	21,5	3,05	92	103,9	46	6,1	189	213,0
10,0	1,83	52	58,8	22,0	3,1	93	106,0	47	6,25	193	217,6
10,2	1,85	52,5	59,5	22,5	3,15	95	108,2	48	6,45	197	222,2
10,4	1,87	53	60,2	23,0	3,2	97	110,3	49	6,5	201	226,8
10,6	1,89	53,5	60,9	23,5	3,3	99	112,4	50	6,65	205	231,4
10,8	1,91	54,5	61,6	24,0	3,35	101	114,6	52	6,9	213	240,6
11,0	1,93	55	62,3	24,5	3,4	103	116,8	54	7,1	221	249,9
11,4	1,97	56	63,7	25	3,45	105	118,9	56	7,4	229	259,0
11,8	2,00	57,5	65,2	26	3,6	109	123,3	58	7,65	237	268,2
12,2	2,04	59	66,6	27	3,7	113	127,7	60	7,9	245	277,4
12,6	2,08	60	68,1	28	3,85	117	132,1	70			323,4

Za više viskozitete mogu se za preračunavanje upotrijebiti ovi faktori:

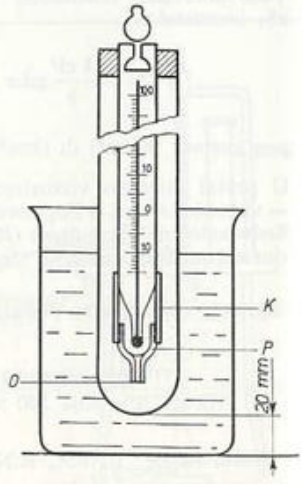
°E	= 0,132 cSt	cSt	= 7,58°E
R.No 1	= 4,05 cSt	R.No 1	= 30,7 °E
S.S.U.	= 4,62 cSt	S.S.U.	= 35,11°E
cSt	= 0,247 R.No 1	cSt	= 0,216 S.S.U.
°E	= 0,0326 R.No 1	°E	= 0,0285 S.S.U.
S.S.U.	= 1,14 R.No 1	R.No 1	= 0,877 S.S.U.

Napomena. Prvi dio tablice do uključivo 9,5 cSt možemo upotrijebiti samo za pretvaranje kinematskog viskoziteta u °E, S.S.U. i R.No 1, a nikako obrnuto.

3.161.4 Talište (točka topljenja)

Talište je temperatura pri kojoj neka tvar prelazi iz krutog u tekuće stanje. Samo kemijski čiste tvari prelaze oštro iz jedne faze u drugu.

Određivanje tališta prema L. Ubbelohdeu prikazuje ⑤.



⑤ Mjerenje tališta

Na termometar navučemo malu metalnu košuljicu K, koja završava unutarnjim navojem. U nju uvijemo metalni prsten *p* s otvorom *o*. Metalni prsten nosi staklenu cjevčicu *o* s uzorkom masti. Svijetao promjer staklene cjevčice *o* iznosi 3 mm, duljina 12,5 mm. Tako pripremljen termometar učvrsti se preko plutenog čepa u staklenu epruvetu ⌀ 40 mm, duljine 200—250 mm. Epruveta dolazi u čašu s vodom (otprilike 2l). U početku kupelj grijemo brže, a 10 do 15°C prije očekivane točke kapanja podižemo temperaturu 1°C/min.

Temperatura pri kojoj se na dnu staklene cijevi pojavi prva polukuglasta kapljica zove se točka tečenja. Temperatura pak kod koje ta kap otpadne jest točka kapanja.

3.161.5 Stinište ulja

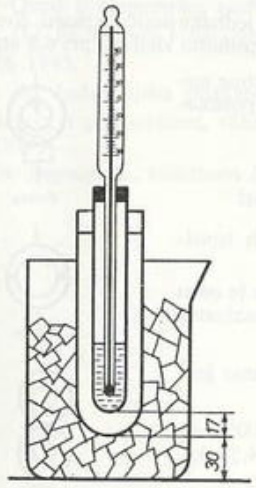
Stinište je temperatura pri kojoj se ulje toliko stisne da više ne teče pod utjecajem zemljine teže.

Određivanje stiništa prikazuje ⑥. U običnu epruvetu duljine 180 mm natočimo pipetom ulja do 30 mm visine.

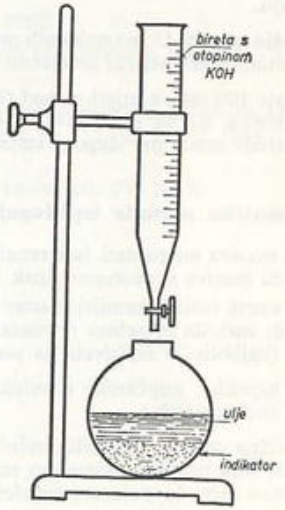
Pomoću plutenog čepa uronimo termometar (— 30°C do + 30°C) u ulje. Manja epruveta dolazi u veću (⌀ 40 mm). Tako složene epruvete dolaze u emajlirani lonac (⌀ 120 mm) s rashladnom smjesom. U blizini točke stiništa epruvete vadimo iz lončića pri svakom °C i vraćamo ih natrag pod kutom od 45°. Kad ulje ostane 10″ u kosom položaju, postignuta je temperatura stiništa.

Rashladne smjese

— Do 0°C voda s ledom
— Do —11°C led s kuhinjskom soli
— ispod —21°C smjesa čvrste ugljične kiseline i alkohola.



⑥ Mjerenje stiništa



⑦ Određivanje neutralizacijskog broja ulja

3.162 Kemijske metode

3.162.1 Neutralizacijski broj (kiselinski broj). To je broj mg KOH potrebnih za neutralizaciju slobodnih masnih kiselina u 1 gramu ulja (vidi 3.12).

Određivanje vidimo na ⑦. 5 do 10 g ulja ili masti otopi se u 30—40 ccm smjese alkohola i etera (1 : 1) pa se titrira alkoholnom otopinom KOH (0,1 N ili 0,5 N). N —

normalna otopina. Indikator je fenolftalein. Titracija teče do promjene boje indikatora. S birete očitamo utrošene mgKOH.

Kiselinski broj izračunamo prema izrazima:

$$\text{kiselinski broj} = \frac{28{,}052 \cdot a}{o}\ ;\ a\ (\text{ccm}),\ o\ (\text{g ulja ili masti})\ \text{za 0,5 N KOH}$$

$$\text{kiselinski broj} = \frac{5{,}610\,4 \cdot a}{o}\ ;\ a\ (\text{ccm}),\ o\ (\text{g ulja ili masti})\ \text{za 0,1 N}$$

3.162.2 Broj saponifikacije

Taj broj pokazuje koliko je mg KOH potrebno da se u 1 g ulja osapune masne kiseline

3.162.3 Sadržaj pepela

Uzorak ulja spalimo u posudici dok ne izgori. Ostatak ugljika grijemo do crvenog žara tako da i on potpuno izgori. Na kraju preostali pepeo izvažemo. Pepeo se sastoji od mehaničkih nečitoća, od metalnih oksida, punila itd.

3.162.4 Sadržaj sumpora

Ulje izgorimo u zabrtvljenoj posudi u atmosferi kisika. Kasnijom analizom izgarnih plinova određujemo postotak sumpora.

3.162.5 Pokus oksidacije ulja i masti

Kroz uzorak ulja prolazi 15 l/h zraka pri 200°C u vremenu od 6 sati. Nakon toga ulje odleži 15 do 30 h. Tako oksidirani uzorak prolazi sva uobičajena ispitivanja pa se rezultati uspoređuju.

Oksidacija masti. U pet staklenih posudica stavimo jednake količine masti. Sve posudice dolaze potom u hermetički zatvorenu bombu, koju ispunimo kisikom pri 6,8 atp i 100°C.

Pokus traje 100 sati, a mjeri se pad tlaka u bombi zbog apsorpcije kisika. Svrha je ispitivanja da se provjeri postojanost mazivih masti pri dugom stajanju.

3.163 Mehaničke metode ispitivanja ulja i masti

Dva ista maziva mogu dati iste rezultate uobičajenih ispitivanja, a da mazive sposobnosti ipak budu različite.

Time je uzrok različit kemijski sastav ulja. Zbog toga je osim navedenih metoda potrebno oponašati uvjete podmazivanja strojeva (najbolje je ispitivati na samom stroju).

Ulja za hipoidne zupčanike i reduktore provjeravamo jednom od ovih metoda:

1 — Čelična prizma tlači cilindrični prsten (n = 800°/min) ⑧a. Sila pritiska postepeno se povećava od 4,54 kp. Pokus teče do pojave prve deformacije.

2 — Osovina rotira sa 600 o/min u dvodijelnoj blazinici ⑧b. Kontrolira se pojava prve deformacije. Povećanje sile ide gradijentnom 0,906 kp/10″.

3 — Dva prstena rotiraju raznim obodnim brzinama ⑧c.

4 — Stroj sa četiri kuglice ⑧d. Gornja kuglica rotira sa n = 1 800 o/min. Uređaj se zaustavlja pri međusobnom zataljivanju kuglica.

⑧ Provjeravanje mazivosti ulja metodom a — Timken, b — Almen, c — SAE, d — Ball

DOMAINKO Dragutin, dipl. inženjer tehnologiie

EKONOMIKA I ORGANIZACIJA PODUZEĆA

41.1 PODUZEĆE 1032
Kapacitet — Sredstva poduzeća — Troškovi i kalkulacija

41.2 EKONOMSKA MJERILA USPJEHA POSLOVANJA 1034
Ekonomičnost — Rentabilnost — Proizvodnost

41.3 ORGANIZACIJA, UPRAVLJANJE, RUKOVOĐENJE 1035
Planiranje — Investicije — Proizvodnja — Komercijalno i privredno-računsko poslovanje

Literatura

Babić Š.: Uvod u ekonomiku poduzeća, Zagreb 1962.

Domainko D.: Ekonomika i organizacija proizvodnje industrijskih poduzeća, III izdanje, Zagreb 1965.

Domainko D.: Industrijska poduzeća, popularno naučno izdanje, Varaždin 1964.

Osnovni zakon o poduzećima, »Službeni list SFRJ«, br. 17 od 7. IV 1965 (ispravak u br. 20/65)

Ustav SFR Jugoslavije, »Službeni list SFRJ« br. 14 od 10. IV 1963.

41 EKONOMIKA I ORGANIZACIJA PODUZEĆA

41.1 PODUZEĆE

Poduzeće je samostalna i osnovna radna organizacija jedinstvenog društvenog i privrednog sistema Jugoslavije. Radni ljudi u njemu slobodno udružuju svoj rad te na temelju društvenih sredstava i samoupravljanja trajno organiziraju i proširuju proizvodnju, promet i druge privredne djelatnosti, zadovoljavajući svoje pojedinačne i zajedničke interese i opće društvene interese. Poduzeća se mogu baviti i neprivrednim djelatnostima koje su važne za razvoj privredne djelatnosti ili koje služe za zadovoljavanje zajedničkih potreba članova radne zajednice.

Industrijska proizvodnja obavlja se u radnim organizacijama, privrednim organizacijskim jedinicama — industrijskim poduzećima. Svrha je industrijskog poduzeća da obradom, preradom i doradom predmeta rada (sirovina, materijala, poluproizvoda) na tvornički način proizvodi za tržište materijalna dobra (proizvode) u količini koju tržište traži, u kvaliteti koju ono treba i u vremenu kada to ono treba i uz odgovarajuću cijenu.

Poduzeće se može osnovati ako postoje ekonomski uvjeti za njegov rad (potreba proizvoda, raspoloživost sirovina i energije, mogućnost nabave oruđa i alata za proizvodnju i potrebne radne snage, uvjeti za transport, određeni tehnološki proces, raspoloživost novčanih sredstava, rentabilnost).

Združeno poduzeće je poduzeće koje u svom sastavu ima dvije ili više tvornica, rudnika, poljoprivrednih dobara, elektrana, robnih kuća, velikih ugostiteljskih objekata ili drugih sličnih dijelova s većim uloženim društvenim sredstvima, radnim zajednicama ili opsegom poslovanja.

Poduzeće prestaje postojati ako ne udovoljava propisanim uvjetima za obavljanje privredne djelatnosti, ako više ne postoje prirodni uvjeti za obavljanje te djelatnosti, ako više ne postoje stvarne mogućnosti za rad poduzeća, ako se ono spoji ili pripoji drugom poduzeću ili se podijeli na više poduzeća i, konačno, na temelju stečaja.

41.11 KAPACITET

Da bi tvornica mogla proizvoditi, mora, između ostalog, u prvom redu raspolagati određenim građevnim i strojnim uređajem (opremom), tj. tvorničkim postrojenjem. Iz vrste, tipa postrojenja i stanja u kojem se nalazi, proizlazi i tehnička mogućnost da se izvrši neki učinak, odnosno proizvodnja određene vrste. Tu tehničku mogućnost — potencijalnu veličinu — nazivamo **kapacitetom** u općenitom smislu. Pod tim mislimo na sposobnost **najvećeg** učinka, odnosno proizvodnje bez obzira na troškove. Kad se određuje kapacitet, treba točno odrediti stajalište, odnosno objekt proučavanja i određivanja kapaciteta (prostorija, stroj, peć, aparat, radno mjesto, radionica, pogon, tvornica, odnosno više tvornica u jednom industrijskom poduzeću).

Osim toga, pri utvrđivanju kapaciteta veoma je važno odrediti i **uvjete** pod kojima se kapacitet može ostvariti (proizvodi, sirovina, vrijeme, uređaj, tehnološke metode, organizacija rada itd.). Uz te uvjete je kapacitet **stalna** veličina. Ona se naziva teoretskim, idealnim kapacitetom, a iskorištenje se označuje u postocima (iako se ono u praksi naziva različito, npr. realni, optimalni, ekonomski kapacitet itd.).

41.12 SREDSTVA PODUZEĆA

Sredstva za osnivanje i početak rada poduzeća osigurava osnivač iz svojih sredstava uz obvezu vraćanja ili putem kredita koji zaključuje s bankom ili drugim davaocem kredita, osim u izuzetnim slučajevima, koje određuje zakon.

Sredstva poduzeća sastoje se od osnovnih sredstava (to su ona koja se ne troše u jednom ciklusu proizvodnje nego postepeno, kao zgrade, oprema, instalacije, sitan alat duljeg trajanja i veće vrijednosti, patenti i licencije) i obrtnih sredstava (to su ona koja se u

proizvodnom procesu potpuno troše kao sirovine, poluproizvodi, gotovi proizvodi, sitan inventar, novčana sredstva i sl.). Nadalje, poduzeće raspolaže i namjenskim izvorima sredstava (to su ona koja se odvajaju za određene potrebe poduzeća, kao poslovni i rezervni fond, fond zajedničke potrošnje, fond amortizacije i dr.).

41.13 TROŠKOVI I KALKULACIJA

U industriji i u rudarstvu razlikujemo četiri vrste djelatnosti, i to: osnovnu (tj. ona zbog koje je poduzeće osnovano; to su radionice za neposredno obavljanje proizvodnog procesa), pomoćna djelatnost (služi za ostvarenje osnovne djelatnosti; to su energetski odjeli, pomoćne radionice, administracija i dr.), sporedna djelatnost (obuhvaća izradu proizvoda koji nisu u sklopu osnovne djelatnosti kao što je izrada ambalaže za vlastite proizvode, otpadaka i sl.) i neindustrijska djelatnost (koja nema neposredne veze s industrijskom proizvodnjom, npr. ekonomija poduzeća, uprava stambenih zgrada i sl.).

U proizvodnji treba trošiti materijal, sredstva za proizvodnju i radnu snagu. To se trošenje iskazuje u naturalnim veličinama (npr. u kilogramima za materijal, u satima za rad) i u novčanoj vrijednosti. U novcu izraženo trošenje sredstava za rad, predmeta rada i drugog materijala, zatim energije, tudih usluga i živog rada, koje je neophodno za obavljanje proizvodnje i drugih poslovnih funkcija koje služe proizvodnji (prema Babiću) nazivamo troškovima. Troškovi i novčani izdaci nisu uvijek isto. Za troškove proizvodnje važno je da su izazvani potrošnjom u proizvodnji. Važno je pri tom **vrijeme** u kojem je neka ekonomska vrijednost uložena u proces proizvodnje, a bez obzira na vrijeme utroška novca za pribavljanje tih vrijednosti. Ako se, na primjer, nabavi materijal u siječnju i smjesti u skladište, a ulazi u proizvodnju tek u travnju postoji izdatak, ali do travnja još nema trošenja materijala pa, prema tome, ni troška u proizvodnji.

Troškovi se dijele na razne načine, a najvažnija je podjela na direktne (pojedinačne) i na indirektne (opće, režijske). Nadalje, prema opsegu proizvodnje dijele se na stalne (fiksne, nepromjenljive) i promjenljive (varijabilne), a ovi na proporcionalne, progresivne i degresivne.

U suvremenom poduzeću treba stalno ispitivati, utvrđivati i računati **sve** troškove koji bi mogli nastati ili koji su nastali pri izvršivanju određenih zadataka. To računanje zovemo **kalkulacijom.** Troškove u kalkulaciji raščlanjujemo na sastavne dijelove, na tzv. elemente cijene, i ove sređujemo po vrstama i izračunavamo za svaki proizvod ili učinak. Dijelovi, odnosno elementi strukture cijene kod nas jesu: 1 — materijal za izradu, 2 — ukalkulirani osobni dohoci izrade, 3 — amortizacija, 4 — opći troškovi izrade (pogonska režija), 5 — opći troškovi uprave i prodaje (upravno-prodajna režija). Zbroj 1—5 čini **cijenu koštanja.** Na nju se dodaje »razlika realizacije« i tako dobivamo **prodajnu cijenu proizvođača.**

Po vremenu u kojem se provodi kalkulacija razlikujemo prethodnu ili plansku kalkulaciju i naknadnu, odnosno obračunsku kalkulaciju.

Naša poduzeća vode svoje poslove po **privrednom računu.** Poduzeće je dužno štedljivo raspolagati tim sredstvima, iz čega proizlazi da mora uskladiti rashode s prihodima. Ono mora pokrivati svoje troškove poslovanja i druge izdatke samo prihodima od prodaje vlastitih proizvoda i izvršenih usluga. Vrijednost prodane robe i izvršenih usluga, zatim vlastitih proizvoda i usluga upotrijebljenih za vlastite investicione svrhe, kao i davanje drugima bez naknade i druge vrijednosti koje se ostvare u poslovanju nazivaju se **ukupni prihod** (realizacija i ostali prihodi). Raspodjela ukupnog prihoda provodi se tako da se najprije utvrde **troškovi poslovanja** (materijal, amortizacija, neka izdvajanja društvu, komorama i udruženjima) pa se zatim utvrdi **dohodak** privredne organizacije (koji sadržava osobne dohotke radnika te fondove pod upravom poduzeća.

Kako se vidi, visina dohotka ovisi o veličini ukupnog prihoda i o troškovima poslovanja. Visina osobnih dohodaka ovisi o tome u kojoj su mjeri oni ostvareni zalaganjem članova radnog kolektiva, a u kojoj su mjeri ostvareni na drugi način, npr. boljim prodajnim

cijenama na tržištu s obzirom na veću potražnju, a manju ponudu. Tu vidimo da dolazi do izražaja materijalna zainteresiranost svih članova radnog kolektiva za što bolje iskorištavanje kapaciteta, za veću proizvodnost, za štednju materijalnih troškova, za bolje iskorištenje radne snage itd., a u tome se i sastoji vođenje poslova po privrednom računu. Poduzeće mora pokriti svoje troškove poslovanja te pri tom ostvariti i višak rada.

41.2 EKONOMSKA MJERILA USPJEHA POSLOVANJA PODUZEĆA

41.21 EKONOMIČNOST

U najopćenitijem smislu ekonomičnost se obično označuje kao odnos između ostvarenog učinka i utrošenih sredstava. Nas osobito zanima možemo li postići uštedu, koliko i kako. Nastojat ćemo da odnos između učinka i utrošenih sredstava bude što povoljniji, tj. da ekonomičnost bude što veća.

Stupanj ekonomičnosti izražavamo naturalnim i novčanim jedinicama, i to **uspoređivanjem** (vremenskim, prostornim i s planom). Za određivanje stupnja ekonomičnosti služimo se većim brojem pokazatelja (npr. odnos troškova prema izrađenoj količini proizvoda, odnos elemenata pojedinih troškova prema cijeni koštanja itd.).

41.22 RENTABILNOST

Za poduzeće kažemo da treba da posluje rentabilno, a to znači da je ostvarilo u nekom razdoblju, odnosno na nekom poslu, veće prihode od rashoda. Ako su prihodi manji od rashoda, kažemo da je došlo do gubitka.

Rentabilnost se izražava samo u novčanim jedinicama, a kod nas se **stupanj** rentabilnosti izražava prema formuli:

$$\text{rentabilnost u } \% = \frac{\text{dohodak} \times 100}{\text{osnovna} + \text{obrtna sredstva}}.$$

U industrijskom poduzeću rentabilnost je ovisna o ekonomičnosti tehničko-ekonomskog poslovanja, o državnoj kreditnoj i fiskalnoj politici (o visini kamata itd.), o kreditnoj i uopće o financijskoj politici samog poduzeća, tržištu (ponudi, cijenama i potražnji) te o komercijalnoj politici poduzeća.

Osim rentabilnosti poduzeća u cjelini, rentabilnost se može odnositi i na pojedine investicije u poduzeću.

Za izračunavanje stupnja i prave slike rentabilnosti služimo se također većim brojem pokazatelja.

41.23 PROIZVODNOST

Kad se govori o proizvodnosti (produktivnosti), onda se obično i u prvom redu misli na uspješnost, efikasnost, na unosnost kapitala uloženog u neki posao. Slično se još i danas čuje o proizvodnosti nekog stroja, tj. koliko proizvoda on može izraditi u jedinici vremena, ili se govori, na primjer, o proizvodnosti nekog materijala. Nadalje postoji i mišljenje da je proizvodnost sposobnost radnika da proizvede neki proizvod, odnosno da izvrši neki učinak.

Sva ta mišljenja su pogrešna. Pod proizvodnošću (produktivnošću) treba smatrati **ostvarenu proizvodnju jednog radnika u jedinici vremena,** jer od tri faktora proizvodnog procesa (predmet rada, oruđa, odnosno alata za rad i rad) čovjek je glavni faktor. I pri najmodernijim uređajima i najboljem materijalu on upravlja njima pa će o sklonosti njegova rada, o njegovoj umješnosti, o **zalaganju i volji,** o utrošku njegove energije, koja je brzo iscrpiva, u određenim okolnostima ovisiti **korisnost** proizvodnje.

Zbog toga je za našu privredu, za naše poduzeće, od ogromne važnosti da se proučavaju i pronalaze mjere i metode za povećanje proizvodnosti rada uz normalan intenzitet.

Prema tome, svrha proučavanja proizvodnosti ima izričit ekonomski i društveni karakter.

Za izračunavanje proizvodnosti rada postoje također razne metode i pokazatelji.

41.3 ORGANIZACIJA, UPRAVLJANJE, RUKOVOĐENJE

Pod organizacijom razumijevamo sistem pravila, propisa, normi, koji skladno povezuju u vremenu i prostoru i usmjeravaju izvjesne zadaće (odnosno organe) da se međusobno — kao u živom organizmu — popunjavaju i koordiniraju s nastojanjem da se uspostavi radna cjelina i postignu određeni ciljevi.

O organizaciji i upravljanju u poduzeću donosimo ovdje najvažnije propise iz Osnovnog zakona o poduzećima.

Radni ljudi u poduzeću organiziraju radni proces i upravljanje na način koji omogućuje najbolje korištenje sredstava rada i stalno podizanje proizvodnosti rada, kao i neposrednu zainteresiranost ljudi za rad i njihovo što neposrednije učestvovanje u upravljanju svim djelatnostima poduzeća.

To se napose odnosi na pitanja rada, na određivanje međusobnih odnosa, na raspodjelu dohotka i na druga pitanja u vezi s ekonomskim položajem poduzeća. Pri tome valja istodobno osigurati najpovoljnije uvjete za rad i poslovanje poduzeća kao cjeline.

Metode i sredstva za izvršenje tih zadaća vrlo su brojni, raznoliki i promjenljivi. Donošenje načelnih odluka o tome koji su najbolji putovi, koje metode i sredstva najsvrsishodniji da se ostvari cilj i kontroliranje kako se odluke ostvaruju jest funkcija **upravljanja.** Tu funkciju izvršavaju članovi radne zajednice neposredno (referendumom, na zborovima radnih ljudi i putem drugih posebnih oblika) i preko svojih organa kojima oni povjeravaju određene funkcije upravljanja.

Organi upravljanja poduzećem jesu radnički savjet, upravni odbor i direktor.

Prava i dužnosti organa upravljanja poduzećem utvrđuju se **statutom poduzeća,** u skladu s ustavom i zakonom.

Radnički savjet (najmanje 15 članova) donosi statut, planove i programe rada i razvoja, odlučuje o osnovnim pitanjima poslovne politike, donosi završni račun poduzeća i akta o statusnim pitanjima.

Upravni odbor (najmanje 5 članova) odlučuje o poslovanju poduzeća, donosi prijedloge o kojima odlučuje radnički savjet, brine se o izvršavanju zaključaka radničkog savjeta i o pravilnom poslovanju poduzeća.

Rukovođenje je funkcija organiziranja provedbe u život odluka radničkog savjeta i upravnog odbora, tj. razrađivanjem tih odluka u detalje i izvršenjem u procesu proizvodnje po načelu ekonomičnosti. Tu funkciju, kao i uopće funkciju rukovođenja poslovanja poduzeća, zastupanja i predstavljanja poduzeća te obavljanja drugih poslova po zakonu i statutu izvršava **direktor poduzeća.** On je samostalan u radu i osobno je odgovoran za svoj rad radničkom savjetu, upravnom odboru i radnoj zajednici. Osim toga, direktor se brine o zakonitosti rada poduzeća i o ispunjavanju njegovih zakonom predviđenih obveza pa je u tom pogledu odgovoran društvenoj zajednici. Ako ustanovi da je neki akt organa upravljanja u suprotnosti sa zakonom, dužan je nakon upozorenja na to predložiti nadležnom organu da obustavi izvršenje tog akta. U tom slučaju akt se ne može izvršiti.

Prema tome, direktor je ne samo organ upravljanja nego i glavni rukovodilac poduzeća.

Statutom se može predvidjeti **prokura,** tj. punomoć osobama na rukovodećim radnim mjestima (jednom ili više prokurista) za zaključivanje ugovora i potpisivanje firme te za obavljanje drugih pravnih poslova u vezi s poslovanjem poduzeća. Takvu punomoć

može dati direktor i drugoj osobi (generalnu punomoć za zaključivanje jedne ili više vrsta ugovora ili specijalnu punomoć za zaključivanje jednog ili više određenih ugovora).

U poduzeću se može osnovati **nadzorni organ** koji vodi nadzor nad primjenom odredaba statuta i drugih općih akata.

Nitko ne može ograničiti niti lišiti prava upravljanja nijednog člana radne zajednice poduzeća.

Unutarnje odnose (organizaciju, raspodjelu dohotka i osobnih dohodaka, uvjete za imenovanje direktora, poslovnu tajnu i dr.) u poduzeću uređuju radni ljudi **statutom, arbitražom** i drugim općim aktima.

Za rješavanje sporova iz odnosa između dijelova poduzeća (radnih jedinica, pogona, tvornica) i između poduzeća i dijelova poduzeća, a u vezi s međusobnim isporukama i obavljanjem usluga može se osnovati **unutrašnja arbitraža** (6 članova i predsjednik).

Poduzeće koje je u financijskim teškoćama može se sanirati putem **redovite sanacije** (daje se kao sanacijski kredit) ili putem **nagodbe** između poduzeća i vjerovnika (sporazum o odgodi isplate, odnosno o smanjenju potraživanja i o načinu isplate).

Kao primjer sastava organizacije službi (sektora) u velikom industrijskom poduzeću navodimo slijedeći shematski prikaz (skraćeno):

1 — Postrojenja. Ovamo spada podizanje novih postrojenja, održavanje sadašnjih postrojenja, opskrba energijom i tvornički transport.

2 — Razvoj i unapređivanje. U tom sektoru je težište rada na naučnom istraživanju, na konstrukciji i sastavu proizvoda, na standardizaciji, patentima i licencijama, na izradi uzoraka i na promjenama u konstrukciji i sastavu.

3 — Izrada. Zadaća je izrade da izvrši pripremu proizvodnje, neposrednu izradu i kontrolu izrade.

4 — Radna snaga. Radni odnosi i sva pitanja radne snage (između ostalog izobrazba, zaštita radne snage, priprema disciplinskog postupka i dr.), društveni standard i pravna pitanja.

5 — Opći poslovi. Administracija, zaštita od požara, održavanje i čišćenje svih administrativnih zgrada, veza s vlastima, priprema podataka i izvještaja za direktora, upravni odbor i radnički savjet, vođenje zapisnika sjednica, pravni poslovi, veza s vanjskim svijetom, informacije štampi, izdavanje časopisa i dr.

6 — Materijalna opskrba. Ovaj sektor se brine o ekonomičnoj nabavi materijala, da on bude kvalitativno pravilan, da se stavi proizvodnji na raspolaganje u pravo vrijeme i na pravom mjestu. Razumije se da ovamo spada i uskladištavanje sirovina.

7 — Prodaja. Zadatak je prodaje da unovči proizvodnu robu. Zato se taj sektor brine za pripremu prodaje (reklamu, ispitivanje tržišta, plan realizacije itd.), za samu prodaju (veza s kupcima, zastupstva, narudžbe i zaključci), kao i za isporuku (pakovanje, otprema, skladištenje gotove robe).

8 — Privrednoračunsko i financijsko poslovanje. Ovamo spada pribavljanje potrebnih novčanih sredstava, praćenje i bilježenje poslovnih događaja, kretanje ekonomskih promjena, analiza tih promjena, udovoljavanje unutarnjim i vanjskim novčanim obvezama poduzeća. Prema tome, ovamo spada i poslovno knjigovodstvo i pogonsko računovodstvo.

9 — Ekonomska analiza i organizacija. Jedan je od najvažnijih zahtjeva u suvremenom industrijskom poduzeću da organi samoupravljanja, kao i svi rukovodioci i svi članovi radnog kolektiva budu potpuno pouzdanim podacima stalno obaviješteni o svim važnijim događajima u poduzeću, o kretanju proizvodnog procesa, o proizvodnosti rada, o stupnju ekonomičnosti poslovanja itd. Na temelju tih podataka ispituju se uzroci i posljedice, osobito nedostataka i gubitaka, te se izrađuju prijedlozi o mjerama i metodama za uklanjanje tih gubitaka, u prvom redu boljom organizacijom. Taj posao se obavlja u svom sektoru. Takav sektor naziva se i biro za unapređenje proizvodnje i ima vrlo važan zadatak. Može se podijeliti na

odsjek za statistiku, na odsjek za ekonomsku analizu, odsjek za organizaciju i na odsjek za privredni plan poduzeća.

10 — Kontrola. Ovamo spada povremena revizija pravilnosti poslovanja na temelju ekonomskih analiza svih službi, odnosno sektora u poduzeću, izrada prijedloga za reorganizaciju.

Svaka od tih službi čini jednu od glavnih funkcija organizacije u rukovođenju, a dijeli se na odjele, odsjeke itd. te, konačno, na radna mjesta.

Organizacijska izgradnja u našim industrijskim poduzećima kao privrednim organizacijama udruženih proizvođača sve se više razvija u pravcu podjele poduzeća na tzv. **samostalne ekonomske jedinice.**

41.31 PLANIRANJE U PODUZEĆU

Djelatnost predviđanja budućih događaja i usmjeravanje privredne aktivnosti neke društvene zajednice, privredne grane, poduzeća ili pojedinca za određeno vrijeme mogli bismo u najopćenitijem smislu nazvati **privrednim planiranjem.**

Privredni plan poduzeća zapravo je tehničko-ekonomski proračun privrednog poslovanja poduzeća i izrađuje se za jednu ili za više godina.

Glavni pojedinačni dijelovi privrednog plana poduzeća jesu: plan prodaje (realizacije), plan proizvodnje, plan materijala i nabave materijala, plan radne snage, plan cijena, plan mjera za sniženje cijene koštanja, plan investicija i financijski plan.

Operativni planovi jesu planovi izvršenja i izrađuju se za kraće razdoblje pa se raščlanjuju vremenski (na dane, smjene i sate), prostorno (na radionice), odnosno po ekonomskim jedinicama, tehnološki i ekonomsko-financijski.

41.32 INVESTICIJE

Investicijama nazivamo ulaganja u osnovna i obrtna sredstva potrebna za redovito poslovanje poduzeća. One se mogu provoditi radi podizanja, odnosno izgradnje potpuno novih objekata, radi održavanja dosadašnjih kapaciteta, zamjene dotrajalih objekata, proširivanja, rekonstrukcije i adaptacije postojećih osnovnih sredstava te radi povećanja proizvodnje s većim iskorištenjem postojećeg kapaciteta (obrtna sredstva). Prema njihovoj namjeni investicije dijelimo na kapitalnu izgradnju i na društveni standard. Po tehničkoj strukturi pak dijelimo ih na investicijske objekte, ove na investicijske jednice, a ove opet na investicijske elemente.

Težište investicijskih aktivnosti i politike poduzeća treba da bude, u prvom redu, na racionalizaciji, na zamjeni i na modernizaciji, i to **vlastitim sredstvima.**

Da bi se dobila jasna slika o onome što se mora izvršiti i kakva je ekonomičnost investicija, treba detaljno izraditi ekonomsko-tehničku dokumentaciju. Ona sadržava investicijski program i projekte (idejni, glavni i izvođački), što zajedno nazivamo investicijskim elaboratom.

41.33 PROIZVODNJA

Radna snaga (proizvođači). U proizvodnom procesu glavni je faktor čovjek. Da bi radni čovjek, kao proizvođač, mogao proizvesti neku količinu proizvoda, potrebno je da raspolaže fizičkim i umnim sposobnostima i da utroši svoju energiju kojom će doći do izražaja njegova snaga. Ta snaga — radna snaga — u strogom smislu riječi znači skup fizičkih i umnih sposobnosti jednog čovjeka ili više ljudi koje oni stavljaju u pokret za proizvodnju upotrebnih vrijednosti. Glavni zahtjev što ga ekonomika naših poduzeća postavlja na radnu snagu jest da se u svom djelovanju na predmet rada pridržava načela racionalne organizacije rada, tj. da uz normalan intenzitet postigne u ekonomskom smislu što veću proizvodnost. U tu svrhu potrebno je da su napose rukovodioci, kao i svi članovi radnog

kolektiva što bolje upoznati, između ostalog i s psihofiziologijom rada. Ona proučava zakonitosti između psihofizioloških osobina čovjeka i radne aktivnosti kako bi se omogućilo što povoljnije iskorištenje svih faktora koji djeluju na radni učinak, na zdravlje, na zadovoljstvo i na ličnost radnika. Osobito je važna **racionalizacija** radnih procesa, koja proučava konkretne mjere i metode za povećanje proizvodnosti rada. Prije svega, osnovni je zahtjev pravilan izbor radnika po načelu »pravi čovjek na pravo mjesto«. U tu svrhu primjenjuje se analitička procjena radnih mjesta i analitička procjena ličnosti, zatim prikladne metode nagrađivanja, pravilna psihološka atmosfera, pravilna kvalifikacija radnika, raspored rada i odmora, racionalni radni namještaj, mehanizacija, uklanjanje monotonije, zaštita radne snage i dr.

Materijal. Materijal se dijeli na osnovni i na pomoćni. Budući da je to vrlo visoka stavka u cijeni koštanja, posebno je važno da se njime postupa vrlo ekonomično. U tu svrhu potreban je pravilan izbor materijala, optimalno iskorištenje, što niže nabavne cijene, određivanje realnih normativa, primjena naprednih tehnoloških metoda, tehnološke discipline, što bolje iskorištenje otpadaka, što savjesnija kontrola, pravilna kvalifikacija radnika, stimuliranje radnika za štednju itd.

Izrada. Izrada je dio proizvodnog procesa, njegova neposredna, izvršna, tehničko-proizvodna, odnosno tehničko-ekonomska funkcija. Prvi je i osnovni zahtjev da dobijemo po mogućnosti što veću količinu proizvoda, visoke kvalitete, u što kraćem vremenu, uz što manji utrošak materijala, pogonske i ljudske energije po jedinici proizvoda.

U tu svrhu treba utvrditi organizacioni tip proizvodnje (pojedinačni, serijski, masovni, lančani i dr.), što bolju organizaciju pripreme rada, ciklusa proizvodnje, unutrašnji transport, radne norme, dokumentaciju (radni nalog, trebovanje materijala, radnu listu), kontrolu, primjenu standardizacije, specijalizacije i kooperacije.

41.34 KOMERCIJALNO, PRIVREDNORAČUNSKO I FINANCIJSKO POSLOVANJE

Komercijalno poslovanje sastoji se od nabave materijala i od prodaje gotovih proizvoda.

Nabava se može organizaciono podijeliti na samu nabavu (nakup, praćenje termina, statistika nabave, otpaci) i uskladištavanje (skladišta, količinski obračun, prijem i ispitivanje materijala, otpaci, ambalaža).

Prodaja ima funkciju unovčavanja proizvedene robe. Organizaciono se može podijeliti na pripremu prodaje (istraživanje tržišta, plan realizacije, statistika prodaje, privredna propaganda, na prodaju (narudžbe i zaključci, zastupstvo, odvijanje naloga, veza s kupcima) i na isporuku (skladištenje gotove robe, uzorci, pakovanje i otprema).

Nabava i prodaja mogu biti prema potrebi dvije zasebne službe, a obje funkcije mogu biti spojene i u komercijalnu službu.

Glavne funkcije privrednoračunskog i financijskog poslovanja jesu pribavljanje potrebnih novčanih sredstava, praćenje i bilježenje poslovnih događaja i kretanje ekonomskih promjena, ispitivanje tih promjena te udovoljavanje unutarnjim i vanjskim obvezama poduzeća.

Organizaciono se može ta služba podijeliti na odjel financija (financiranje, blagajna, devize, zemljišta, osiguranja), na poslovno knjigovodstvo (završni račun, isporučioci, kupci, bankovna konta, porezi i društveni doprinosi, likvidatura) i pogonsko računovodstvo (pogonsko knjigovodstvo, obračun materijala, obračun zarada, obračun osnovnih sredstava, prodajno knjigovodstvo).

RADOŠEVIĆ Dušan, dipl. inženjer strojarstva

PRIPREMA RADA

42.1 PRIPREMA RADA 1041
42.2 TEHNOLOŠKA PRIPREMA 1042
42.3 PRIPREMA ALATA 1049
42.4 OPERATIVNA PRIPREMA 1050

Literatura

Vila inž. Antun: Priprema rada, Privreda, Zagreb, 1962.
Taboršak inž. Drago: Studij i analiza vremena. Privreda, Zagreb, 1962.
Bartolović inž. Adrijan: Skladište i izdavaona alata, C. P. Z., Zagreb, 1959.
Hercigonja dr inž. Ivo: Tehnička priprema proizvodnje, JZPR, Privredni pregled, Beograd, 1963.
Nikonenko inž. Daniel: Planiranje i priprema rada u poduzeću, Informator, Zagreb, 1962.

OZNAKE

G_k	konstruktivna količina
G_s	sirova količina (kg)
G_{kal}	kalkulativna količina (kg)
T	ukupno vrijeme za seriju (sati)
T_{pz}	pripremno završno vrijeme (sati)
t_t	tehnološko vrijeme (sati)
t_p	pomoćno vrijeme (sati)
t_d	dodatno vrijeme (sati)
k_a	koeficijent djelovanja okoline
k_n	koeficijent zamora
k_d	dodatni koeficijent
n	broj komada
t_j	terminska jedinica (sati)
K	koeficijent prolaza

42.1 PRIPREMA RADA

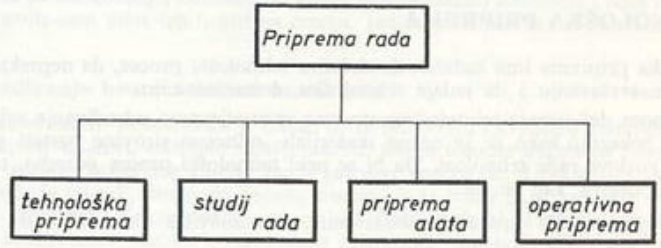
Pojmom pripreme rada obuhvaćen je niz službi i aktivnosti u vezi s neposrednom proizvodnjom, koje mogu, no ne moraju biti koncentrirane u jednoj organizacijskoj jedinici industrijskog poduzeća. Ako je sve to koncentrirano u jednoj organizacijskoj jedinici za cijelo poduzeće, onda je to centralna priprema rada, ili kraće, priprema rada. Medutim, ako su spomenute službe i aktivnosti raspoređene bilo po specijalnostima, bilo po pojedinim pogonima, tada govorimo o decentraliziranoj pripremi rada. No bilo da se radi o centralnoj ili o decentraliziranoj pripremi rada, pojam pripreme rada u svakom slučaju obuhvaća niz određenih poslova, odnosno aktivnosti, i to:

1 — definiranje tehnološkog procesa i rad na unapređivanju tehnološkog procesa
2 — planiranje proizvodnje
3 — planiranje alata, odnosno brigu o alatima
4 — planiranje materijala
5 — izradu i lansiranje radne dokumentacije
6 — praćenje i upravljanje procesom proizvodnje.

Osim navedenih poslova, u nekim industrijama i poduzećima (npr. u drvnoindustrijskim kombinatima) priprema rada obuhvaća i oblikovanje proizvoda i sve poslove u vezi s time.

Prema karakteru navedenih poslova priprema rada dijeli se na tehnološku i na operativnu pripremu. Prva obuhvaća poslove navedene u točki 1, tj. definiranje tehnološkog procesa i rad na njegovu unapređivanju, a druga sve ostale spomenute poslove.

Moderna centralizirana priprema rada u mnogim industrijskim poduzećima ima u svom sastavu još dva odjela, a to su: studij rada i priprema alata ①.



① Organizacijska shema pripreme rada u metalopreradivačkom poduzeću srednje veličine

Poslovi u tako organiziranoj pripremi rada podijeljeni su na slijedeći način:

tehnološka priprema
- definiranje tehnološkog procesa
- rad na unapređivanju tehnološkog procesa
- izdavanje tehnološke dokumentacije

studij rada
- mjerenje i analiza vremena ili normiranje
- pojednostavnjenje rada ili racionalizacija

priprema alata
- konstrukcija alata
- izrada alata
- uskladištenje alata
- evidencija alata

operativna priprema

— planiranje proizvodnje
— planiranje materijala, odnosno sirovina
— izrada i lansiranje radne dokumentacije
— praćenje i upravljanje proizvodnjom.

O svakom od tih odjela bit će govora u daljnjim poglavljima. Pri tome treba napomenuti da to nije jedina moguća dobro organizirana priprema rada za neko poduzeće, nego da su moguća i drukčija, isto tako dobra rješenja. Koje će se rješenje u konkretnom slučaju primijeniti, ovisi o nizu uvjeta u kojima odnosno poduzeće radi. Ti uvjeti jesu:

1 — karakter samih proizvoda
2 — tehnološki proces
3 — tip proizvodnje
4 — raspoloživa sredstva
5 — raspoloživi ljudi
6 — perspektiva, tj. očekivani razvoj poduzeća.

Prilikom osnivanja pripreme rada treba te uvjete pažljivo proanalizirati pa prema njima odabrati najpovoljnije rješenje.

Po svom položaju i zadacima priprema rada je jedan od ključnih odjela u poduzeću jer ona povezuje većinu ostalih odjela s proizvodnjom. Iz toga proizlazi i važnost dobro organizirane pripreme rada jer je njen glavni zadatak da usklađuje djelovanje ostalih odjela s potrebama proizvodnje.

42.2 TEHNOLOŠKA PRIPREMA

Tehnološka priprema ima zadatak da definira tehnološki proces, da neprekidno radi na njegovu usavršavanju i da izdaje tehnološku dokumentaciju.

Pod pojmom definiranja tehnološkog procesa razumijevamo određivanje svih onih veličina koje pokazuju kako će iz nekog materijala, odnosno sirovine nastati gotov proizvod. Te poslove rade tehnolozi. Da bi se neki tehnološki proces odredio, treba obaviti čitav niz poslova, kao što su:

1 — pregled crteža ureda za oblikovanje, sa stanovišta ekonomičnosti proizvodnje
2 — odrediti bruto količinu materijala
3 — odrediti broj i redoslijed operacija
4 — odrediti radno mjesto za svaku operaciju
5 — odrediti način rada
6 — odrediti režim rada
7 — odrediti alat, naprave i mjerila
8 — odrediti vrijeme izrade za svaku operaciju
9 — izvršiti ekonomsku analizu izabranog procesa
10 — izdati propisanu tehnološku dokumentaciju.

Svi su navedeni poslovi u vrlo uskoj vezi, a često se ne obavljaju istim redoslijedom kojim smo ih opisali. No oni svi zajedno čine ono što mi razumijevamo pod definiranjem tehnološkog procesa, a mora se obvezatno obaviti. Jedini izuzetak od tog pravila je zadatak opisan pod točkom 1 (pregled crteža ureda za oblikovanje sa stanovišta ekonomičnosti proizvodnje), i to onda ako tehnolog razrađuje tehnološki proces za one proizvode koji nemaju crteža, jer oni nisu potrebni. Takvi su npr. kemijski proizvodi, prehrambeni proizvodi itd.

42.201 Pregled crteža ureda za oblikovanje sa stajališta ekonomičnosti proizvodnje

Tehnolog je dužan da pronađe najekonomičniji način proizvodnje za neki proizvod, nasuprot konstruktoru, koji je odgovoran za funkcionalnost proizvoda. Ta dva zadatka su, naime, u većini slučajeva u međusobnoj suprotnosti pa ih treba uskladiti, a to je također jedan od zadataka tehnologa. Prema tome, tehnolog treba da izvrši ove radnje u vezi s crtežom:

— **Pregled izrade crteža.** Pregledava se da li je crtež potpuno jasan, ima li dovoljan broj projekcija, da li su sve dimenzije čitljivo navedene, zatim, i da li je naznačena sva potrebna kvaliteta obrade.

— **Pregled upotrijebljenih materijala.** Pregledava se da li su svi materijali označeni standardnim oznakama i nema li previše specijalnih materijala kakvi se inače u poduzeću ne upotrebljavaju. Treba voditi brigu o internoj standardizaciji čelika i ostalog materijala. Zatim se postavlja pitanje da li su upotrijebljeni standardni dijelovi gdje god je to moguće, te mogu li se propisani materijali obradivati u vlastitim pogonima.

— **Kontrola mogućnosti ekonomične izrade.** Pregledava se jesu li dijelovi koji čine proizvod konstruirani tako da se mogu na postojećem strojnom parku lako i ekonomično izraditi. Pitanje je, zatim, nisu li kvalitete koje se traže za pojedine dijelove prevelike, tj. mogu li se one lako i ekonomično postići i postojećim mjerilima lako kontrolirati.

Kontrola mogućnosti lakog sastavljanja. Utvrđuje se da li se dijelovi lako spajaju u gotov proizvod, odnosno lako rastavljaju; nadalje, da li je za taj posao potreban neki specijalan alat ili naprava te ne troši li se previše vremena za sklapanje proizvoda.

Pokaže li ispitivanje da neke od spomenutih pojedinosti nisu u redu, tehnolog je dužan da od ureda za oblikovanje, odnosno od konstruktora zatraži izmjenu. Treba napomenuti da on ne smije sam ništa izmijeniti na crtežu. Jedino je konstruktor ovlašten da ga mijenja.

42.202 Određivanje bruto količina materijala

Prilikom konstrukcije konstruktor je dužan da odredi vrstu i kvalitetu materijala od kojeg će se izrađivati dijelovi, odnosno sam proizvod. On je također dužan da odredi konačne dimenzije svakog pojedinog dijela, kao i gotovog proizvoda. U skladu s time zadatak je tehnologa da odredi dimenzije sirovog materijala iz kojeg će se pojedini dio budućeg proizvoda izrađivati. Kakve veličine mora biti sirovina da bi se mogao izraditi pojedini dio, to u konkretnom slučaju ovisi o tome kakav smo postupak obrade odabrali. Kako postupak obrade odabire upravo tehnolog, logično je da će on odrediti i veličine sirovina.

Primjer

Treba izraditi rondele prema ②

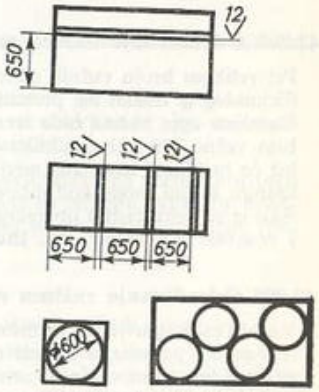
Rondele se mogu izraditi:

1 — obrezivanjem na kružnim škarama ② ili
2 — izrezivanjem na preši (štancanjem) ②.

Karakteristične količine:

G_k — konstruktivna količina (težina), a to je veličina rondele na ②
G_s — sirova količina (težina), a to je količina kvadrata na ②
G_{kal} — kalkulativna količina (veličina ploče podijeljena sa brojem izrezanih komada na ②.

Kao što vidimo, te veličine nisu jednake za oba postupka i ovise o izboru obrade.



② Izrada rondela iz lima

42.203 Određivanje broja i redoslijeda operacija

Operacija je osnovna jedinica tehnološkog procesa. To je onaj dio tehnološkog procesa koji se obavlja na istom radnom mjestu, neprekidno, a obavlja ga jedan radnik, odnosno ista skupina radnika. Operacija služi i kao osnovna jedinica pri planiranju proizvodnje. Broj i redoslijed operacija mogu se mijenjati i to ovisi o izabranom tehnološkom procesu. Pri izboru broja operacija vrijedi pravilo: viši tipovi proizvodnje — veći broj operacija, niži tipovi proizvodnje — manji broj operacija. To ujedno znači da su u višim tipovima proizvodnje operacije vremenski kraće i obavljaju se na specijalnim strojevima i alatima, dok su u nižim tipovima proizvodnje operacije duže i obavljaju se na univerzalnim strojevima i alatima.

Manje jedinice od operacija jesu zahvati i pokreti, odnosno mikropokreti. To su sastavni dijelovi operacija, no oni nisu direktno predmet promatranja tehnologije, nego studija rada.

42.204 Određivanje radnog mjesta za svaku operaciju

Time što je tehnolog odredio broj i redoslijed operacija, on je u većini slučajeva odredio i radno mjesto. Stoga se taj posao mora raditi paralelno s prethodnim.

Radno mjesto mora se odrediti tako da bude najpovoljnije za pojedinu radnu operaciju, ne samo po svojim tehničkim karakteristikama nego i s obzirom na smještaj i troškove eksploatacije. Da bi tehnolog mogao odrediti najpovoljnije radno mjesto, mora raspolagati:

— rasporedom strojeva po pogonima, tj. planom poduzeća s ucrtanim gabaritima strojeva i
— dosjeom strojeva.

Uredan dosje strojeva trebalo bi da sadržava:

1 — fotografiju stroja
2 — crtež stroja s najvažnijim kotama stroja
3 — listu univerzalnih alata i naprava koje se mogu primijeniti na stroju
4 — listu specijalnih alata i naprava koji pripadaju stroju
5 — tabele sa režimima rada koji se mogu postići na stroju
6 — grafikone i tabele o vremenima, i to:
  61 — za pomoćna vremena
  62 — za dodatna vremena
7 — listu dijelova za izmjenu.

42.205 Određivanje načina rada

Pri velikom broju radnih operacija postoji mogućnost da se rad obavlja na više načina. Tehnolog je dužan da pronade najbolji način rada te da ga opiše i preda na upotrebu. Detaljan opis načina rada izvršit će se samo za one radne operacije kod kojih je to osobito važno jer treba radnika osobito poučiti, odnosno podsjetiti ga. Opisi načina rada bit će prilikom usvajanja novih proizvoda ili novog tehnološkog procesa vrlo detaljni, a kasnije se oni mogu kod mnogih radnih operacija znatno skratiti ili čak posve izostaviti. Ako je za neku radnu operaciju potreban detaljan opis načina rada, onda se za nju izdaje i poseban dokument, tzv. **instrukcijski list.**

42.206 Određivanje režima rada

Režimi rada su uvjeti ili okolnosti pod kojima predmet izrade mijenja svoj oblik ili svojstva. To su, na primjer, u obradi metala: brzina rezanja, posmik, dubina reza; u kemijskoj proizvodnji: temperatura, pritisak, brzina strujanja itd. Izborom režima rada određuje se jedno od najznačajnijih vremena u ukupnom vremenu izrade: tehnološko vrijeme.

Nadalje, izborom se režima rada neposredno utječe na kvalitetu proizvodnje, na iskoristivost i na trajnost stroja. Pravilan izbor režima rada jedan je od najvažnijih poslova tehnologa, i on mu mora obratiti najveću pažnju. On mora neprestano pratiti kako pojedini režimi rada utječu na prije spomenute faktore i prema tome se ravnati pri izboru novih režima rada.

42.207 Određivanje alata, naprava i mjerila

Alati su sredstva kojima se prilikom obrade direktno djeluje na materijal, odnosno pod čijim utjecajem ovaj mijenja svoj oblik.

Naprave su pomoćna sredstva koja sudjeluju pri obradi, ali ne vrše neposredno djelovanje na predmet, nego ga samo pridržavaju ili učvršćuju.

Mjerila i mjerni instrumenti su sredstva s kojima se kontrolira rad da bi se postigla određena kvaliteta.

Sva ta sredstva mogu biti univerzalna i specijalna. Univerzalna su ona koja služe za više proizvoda, odnosno za više različitih radnih operacija. Specijalna su, naprotiv, ona sredstva koja služe samo za jedan proizvod, odnosno samo za jednu radnu operaciju. Međutim, između ta dva pojma ne postoji stroga podjela, jer neko sredstvo može biti više ili manje specijalno, odnosno univerzalno.

Tehnolog je dužan odabrati najpovoljniji alat, napravu ili mjerilo za svaku radnu operaciju. Da bi to mogao učiniti, mora imati popis postojećih alata. Ako ne raspolaže odgovarajućim alatom, mora prvo razmotriti može li se ovaj kupiti (to će biti slučaj ako se radi o nekom univerzalnom alatu) ili ga treba izraditi u vlastitom poduzeću. U tom drugom slučaju, tražit će putem zahtjevnice za izradu alata od pripreme alata konstrukciju i izradu alata. Taj postupak opisat ćemo u poglavlju »Priprema alata«.

42.208 Određivanje vremena izrade

Ukupno vrijeme T za izvršenje nekog rada na seriji dijelova od n komada, određuje se pomoću formule:

$$T = T_{pz} + (t_t + t_p + t_d)\,n.$$

gdje je

T ukupno vrijeme za jednu seriju dijelova od n komada

T_{pz} pripremno završno vrijeme, potrebno za pripremanje radnog mjesta za posao i za pospremanje, odnosno za uređenje radnog mjesta nakon završetka rada na toj seriji dijelova (proizvoda)

t_t tehnološko vrijeme, tj. vrijeme neposrednog aktivnog rada, kad predmet mijenja svoj oblik ili svojstva

t_p pomoćno vrijeme koje je potrebno za obavljanje raznih pomoćnih poslova, ali za koje vrijeme predmet ne mijenja ni svoja svojstva ni oblik; to je npr. umetanje predmeta u stroj, pokretanje stroja, podešavanje alata itd.

t_d dodatno vrijeme to jest vrijeme potrebno za pokriće svih gubitaka vremena u toku radnog dana, a za koje sam radnik nije kriv; određuje se na temelju ovih triju koeficijenata: k_a = djelovanje okoline, k_n = zamora i k_d = dodatni koeficijent (pobliže o tome vidi u poglavlju »Studij rada«)

n broj komada u seriji.

Ako se radi o izradi jednog komada, navedena formula također vrijedi, samo n = 1.

Od spomenutih faktora tehnolog će sam odrediti t_t, tj. tehnološko vrijeme, ako se radi isključivo o strojnom vremenu. Tu veličinu t_t on će u tom slučaju odrediti na temelju izabranog režima rada, putem formula. To je u industriji najčešći slučaj.

Međutim, ako se t_t ne sastoji samo od strojnog rada, tehnolog će odrediti onaj dio t_t koji se odnosi isključivo na strojni rad, a analitičar vremena onaj dio koji se odnosi na ljudski rad. Ukupno će t_t u tom slučaju biti zbroj jednog i drugog.

Ako se radi isključivo o ručnom radu, t_t će odrediti analitičar vremena.

Potpuno je isti slučaj i sa t_p (pomoćnim vremenom).

Dodatno vrijeme t_d određuje studij rada, odnosno analitičar vremena.

T_{pz} (pripremno-završno vrijeme) također određuje studij rada, odnosno analitičar vremena.

Premda tehnolog (kao što se iz onoga što smo već rekli može zaključiti) određuje samo dio ukupnog vremena, on je ipak zadužen da odredi, odnosno izračuna ukupno vrijeme. Razlog tome je sam karakter pojedinih elemenata ukupnog vremena.

t_t ovisi o izabranim režimima rada

t_p ovisi o uređenju radnog mjesta

t_d ovisi o okolini u kojoj se rad obavlja, odnosno o organizaciji posla

T_{pz} ovisi o radnom mjestu i o organizaciji posla.

Prema tome svi elementi ukupnog vremena osim t_t su približno konstantni za određeno radno mjesto, za vrstu posla i za pogon te se mogu unaprijed odrediti. Tehnološko vrijeme naprotiv, ovisi direktno o komadu koji će se izrađivati pa ga stoga treba uvijek nanovo odrediti. Ako su ti konstantni elementi svrstani u pregledne tablice ili grafikone, tehnolog ih može lako odrediti, a tehnološko vrijeme odredit će sam, pa tako on može i treba da odredi i ukupno vrijeme.

42.209 Ekonomska analiza odabranog tehnološkog procesa

Većina proizvoda može se izraditi pomoću više različitih varijanti tehnološkog procesa. Tehnolog je dužan da odabere onu najpovoljniju za zadane zahtjeve. Najčešće je najpovoljnija ona varijanta za koju su troškovi proizvodnje najniži, no to ne mora uvijek biti slučaj. Ponekad se događa da treba izabrati onu varijantu koja daje najveću moguću proizvodnju nekih proizvoda, pa makar troškovi po proizvodu i ne bili najniži. Prilično je rijedak slučaj kad se te dvije varijante poklapaju, tj. da je najpovoljnija varijanta s obzirom na troškove ujedno i ona koja daje najveću proizvodnju. No, bez obzira na to, tehnolog mora ustanoviti kakva je koja varijanta, a za to je potrebno izvršiti ekonomsku analizu tehnološkog procesa, tj. izračunati koliki su troškovi za pojedinu varijantu. Pri tome nam se javlja pojam tzv. graničnog broja komada. To je onaj broj komada kod kojeg su troškovi po komadu za više (obično dvije) varijanti jednaki.

Primjer

Pogledajmo ②, koja se odnosi na primjer 42.202—2.

Za postupak 1 potrebne su nam tri radne operacije koje se izvode na univerzalnom stroju (škare) s univerzalnim alatom (noževi za rezanje).

Za postupak 2 potreban nam je univerzalni stroj (preša), ali i specijalan alat za isijecanje, a to znači da taj alat moramo izraditi ili kupiti. To pak čini dopunski trošak.

Da bismo izabrali jedan od mogućih tehnoloških postupaka, moramo odrediti potrebna vremena izrade te ustanoviti troškove materijala, radnog vremena i alata.

Troškovi materijala su: 1 dm³ — 20 d.

Troškovi radnog vremena su: 1 sat — 10 d.

Troškovi alata: alat za rezanje 600 — 12.000 d.

Trajanje operacija po komadu proizvoda

Postupak 1

1 — operacija	$\frac{0{,}008\,340}{3}$	— 0,002 78 sati
2 — operacija		— 0,007 784 sati
3 — operacija		— 0,016 124 sati
Ukupno po komadu		0,026 688 sati

Postupak 2

1 — operacija	— 0,002 78
Ukupno po komadu	0,002 78

Troškovi rada po komadu su, prema tome: za postupak 1 0,266 88 d. i za postupak 2 0,027 8 d.

Troškovi materijala (za količine vidi ②)

Postupak 1 — G_{kal} — 0,33 dm³ × 20 = 6,6 d.
Postupak 2 — G_{kal} — 0,25 dm³ × 20 = 5 d.

Ukupni troškovi po komadu

Postupak 1 — 0,266 88 + 6,6 = 6,866 88 d.
Postupak 2 — 0,027 8 + 5 = 5,027 8 d.

Tehnolog treba sada da izračuna granični broj komada (X), tj. onaj broj komada pri kojem će troškovi za oba postupka biti jednaki. To će on izračunati iz jednadžbe:

x × troškovi po postupku 1 = x × 5,027 8 + 12 000, a iz toga slijedi:

$$x = \frac{12\,000}{6{,}866\,88 - 5{,}027\,8} = 6{,}532 \text{ komada}$$

To znači da će tehnolog odabrati postupak 1 onda ako je u izgledu narudžba za manji broj komada od tog izračunatog. Ako je pak broj komada veći, odlučit će se za postupak 2.

42.210 Izrada propisane tehnološke dokumentacije

Osnovnu tehnološku dokumentaciju čine:

- operacijski list
- instrukcijski list
- normativ materijala i potrebne energije
- normativ vremena

Osim navedenih dokumenata tehnološka priprema može prema specifičnim potrebama pojedine tvornice izdavati i neke druge dokumente, kao što su:

- zahtjev za konstrukciju alata
- shema montaže
- prijedlog za izmjenu crteža
- rezna skica.

Svi tehnološki dokumenti izraduju se za tzv. normu ili jediničnu količinu.

– **Operacijski list**. Operacijski list je osnovni dokument tehnološke pripreme. Izrađuje se za svaki pojedini dio proizvoda i na njemu je definiran tehnološki proces za taj dio. Izgled i rubrike tog lista ovise o proizvodu, odnosno o poduzeću, te o načinu kako će se on upotrijebiti. Najčešći njegov oblik prikazan je na ③. To je formular sistema »Ormig«, koji je vrlo prikladan za umnožavanje. U tom sistemu operacijski list je ujedno i matični dokument za čitav niz radnih dokumenata koji se dobiju njegovim jednostavnim kopiranjem na odgovarajućem stroju. (O tome će biti više govora u poglavlju »Operativna priprema«). Operacijski list je izvorni dokument za radnu dokumentaciju, a kola samo između tehnološke i operativne pripreme.

NAZIV PROIZVODA Mjenjač			CRTEŽ BR. A - 11	NAZIV DIJELA Poklopac			CRTEŽ BR. A - 113		DIO BR. ③
MATERIJAL (oznake po standardu)				SIROVE DIMENZIJE		KALKULATIVNA KOLIČINA ZA 1 KOM		UKUPNA KOLIČINA ZA RN	
RED BR.	ODJEL	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE	ALATI, NAPRAVE, MJERILA, SMJEŠTAJ		T_{pz}	t_1	% škarta	PRIMJEDBA
1	2	T_1	Tokarenje	30.012,	44.112	0,08	0,24		
2	2	G_1	Glodanje	40.016,	73.018	0,12	0,72		
3	2	B_1	Bušenje	02.012,	11.412	0,06	0,44		
4	2	P_2	Provlačenje	02.024,	22.016	0,06	0,32		
5	2	T_2	Tokarenje	31.012,	48.128	0,04	0,20		
OPERACIJSKI LIST			RAZRADIO Datum	Potpis	KONTROLIRAO Datum	Potpis		LIST BR.	SLIJEDI

③ Operacijski list

– **Instrukcijski list.** Instrukcijski list je dopunski dokument koji daje detaljne instrukcije za izvođenje pojedinih radnih operacija. Izdaje se po pravilu samo za jednu radnu operaciju, i to za one radne operacije kod kojih su potrebna posebna upozorenja, odnosno instrukcije. Na instrukcijskom listu obično se nalaze i skice, koje detaljno objašnjavaju način rada. Taj se list uglavnom upotrebljava u velikoserijskoj i u masovnoj proizvodnji jer se njegova izrada u nižim tipovima proizvodnje ne isplati. Na radno mjesto dolazi zajedno s radnom dokumentacijom.

– **Normativ materijala**. Normativ materijala služi za definiranje potrebnih kalkulativnih količina materijala za određeni proizvod. U metalopreradivačkoj i u sličnim industrijama izrađuje se na temelju sastavnica. Normativ materijala sastavljen je prema proizvodu, odnosno prema materijalu. Sastavlja se na taj način da se svi istovrsni materijali od kojih se izrađuje niz dijelova u proizvodu zbroje i upišu. Normativ materijala služi za izradu kalkulacija i za planiranje materijala u operativnoj pripremi, pa prema tome, on kola između tehnološke i operativne pripreme.

– **Normativ vremena.** Normativ vremena služi, slično kao i normativ materijala, definiranju potrebnog vremena za neki proizvod, bilo da se radi o ljudskom, ili o strojnom vremenu. Kad se radi o proizvodnji takvih proizvoda koji nisu sastavljeni od

dijelova ili se sastoje od vrlo malog broja dijelova koji se izrađuju pomoću vrlo malog broja radnih operacija, normativ vremena nije potrebno posebno izradivati jer za to može poslužiti operacijski list.

Normativ vremena služi za planiranje kapaciteta i za izradu kalkulacija za pojedine proizvode.

– **Zahtjev za konstrukciju alata.** Zahtjev za konstrukciju alata izrađuje tehnolog onda kada je potrebno da se za neku radnu operaciju konstruira alat. U tom je zahtjevu on dužan dati konstruktoru alata sve podatke koji točno definiraju kakav treba da bude alat i kojim uvjetima mora odgovarati.

– **Shema montaže**. Taj dokument se izdaje samo onda kad se proizvod sastoji od mnogo dijelova koji se sastavljaju u podsklopove i sklopove. Takva shema treba da po mogućnosti sadržava i redoslijed montaže, a ako to nije moguće, treba izraditi poseban dokument koji nosi oznaku »Redoslijed montaže«. Napose je taj dokument važan pri terminiranju proizvodnje.

– **Prijedlog za izmjenu crteža.** Prijedlog za izmjenu crteža izradit će tehnolog onda kada je stanoviti dio problem za proizvodnju. Na primjer, zbog velike kompliciranosti određenog dijela proizvodnja je vrlo otežana i zbog toga neekonomična (visok ostatak škarta, velika vremena izrade ili je zauzet neki stroj koji je usko grlo u proizvodnji). Stoga tehnolog, prije nego će dati prijedlog za izmjenu crteža, mora proanalizirati funkcionalnost spomenutog dijela u proizvodu i pronaći neko rješenje po kojem bi taj dio izmjenio svoj oblik, ali i dalje zadržao svoju funkciju u proizvodu. Tek kad je takvo rješenje pronađeno, može se zatražiti izmjena crteža.

– **Rezna skica**. Taj dokument se obično izrađuje onda kad se iz iste sirovine izrađuju dva ili više proizvoda. Rezna skica je u većini slučajeva vrlo slična instrukcijskom listu i kao takva ima i sličnu ulogu. Na njoj tehnolog definira kako treba izrezati sirovinu da bi bilo što manje otpadaka.

Rezna skica se uvijek dostavlja na radno mjesto.

42.3 PRIPREMA ALATA

Priprema alata je poseban odjel u pripremi rada koji treba da preuzme svu brigu o alatima, o napravama i mjerilima. Stoga se u pripremi alata obično nalazi konstrukcija alata, izrada alata, skladište alata i evidencija alata.

42.31 KONSTRUKCIJA ALATA

Konstrukcija alata konstruira alat na pismeni zahtjev tehnologa. U njemu on detaljno opisuje kakav mu je alat potreban i kojim uvjetima on mora odgovarati. Isto vrijedi i za naprave i za mjerila. Zadatak je konstruktora da prema tim zahtjevima konstruira alat. Vrlo je dobro ako se za vrijeme konstruiranja alata savjetuje i s analitičarom rada iz odjela studija rada, i to zbog toga što je analitičar rada zadužen za uređenje radnih mjesta i za ekonomiju vremena na pojedinom radnom mjestu. Prema tome, on može dati konstruktoru vrlo korisne savjete kako bi alat bio što prikladniji za rukovanje.

U manjim poduzećima u sastav konstrukcije alata spada i tehnologija alata, odnosno, konstruktor alata ujedno je i njegov tehnolog. U većim poduzećima, postoji međutim, odvojena samostalna tehnološka priprema alata, koja definira tehnološki proces proizvodnje alata onako kako smo to opisali u poglavlju o tehnološkoj pripremi rada.

42.32 IZRADA ALATA

Odjel izrade alata čine radionice u kojima se alat izrađuje i popravlja. Alat se izrađuje na temelju radne dokumentacije, koja je u suštini ista kao i za druge proizvode, ali prilagođena specifičnim potrebama izrade alata. Tu dokumentaciju za izradu alata u manjim poduzećima obično izdaje evidencija alata, a u poduzećima s vrlo velikom proizvodnjom alata posebna operativna priprema alata.

42.33 USKLADIŠTENJE ALATA

Uskladištenje alata može biti centralno i decentralizirano. Koji od ta dva načina izabrati, ovisi o karakteru proizvodnje i o razmještaju proizvodnih pogona. Ako se radi o suštinski sličnim tehnološkim procesima koji se obavljaju pomoću sličnog alata te ako pogoni nisu previše udaljeni, zgodno je postaviti centralno skladište alata. Međutim, ako to nije slučaj, povoljnije je podijeliti skladište i uspostaviti manja skladišta po pogonima.

Zadatak je skladišta:

- da čuva alat;
- da izdaje, odnosno priprema za izdavanje alat prema primljenoj dokumentaciji;
- da prima i pregledava alat, bilo da on dolazi iz izrade ili iz proizvodnje;
- da ga šalje na popravak.

U nekim poduzećima skladište alata ima i taj zadatak da dopremi alat na radno mjesto, odnosno da ga vrati u skladište. U sastavu ovog skladišta obično se nalazi i oštrionica za alat.

42.34 EVIDENCIJA ALATA

Evidencija alata je služba koja vodi brigu o kretanju alata. U svom sastavu ona obično ima kartoteku alata i izdavanje radne dokumentacije za izradu i popravak alata.

42.4 OPERATIVNA PRIPREMA

Zadaci operativne pripreme jesu planiranje proizvodnje, planiranje materijala, izrada radne dokumentacije, praćenje i upravljanje proizvodnjom. Po svojoj funkciji operativna priprema je onaj organ koji usklađuje zahtjeve prodaje s mogućnostima proizvodnje i nabave materijala.

42.41 PLANIRANJE PROIZVODNJE

Planiranje proizvodnje zapravo je niz predviđanja raznih zbivanja u samoj proizvodnji do kojih bi u budućnosti trebalo da dođe, a sve to na temelju realnih podataka.

Planovi proizvodnje dijele se:

- na perspektivne planove
- na osnovne planove
- na terminske planove.

Perspektivni planovi obuhvaćaju razdoblje od više godina i u njima se određuje razvoj proizvodnje u poduzeću za duže razdoblje. Ti planovi nisu u domeni operativne pripreme rada.

Osnovni planovi mogu biti godišnji, tromjesečni i mjesečni. Tromjesečne i mjesečne planove često nazivamo i operativnim planovima. Njima se određuju radni zadaci pojedinim pogonima u poduzeću, a izrađuje ih po pravilu operativna priprema rada.

Terminski planovi su planovi za rok od svega nekoliko dana (3—7), a njima se određuju zadaci za svako pojedino radno mjesto. Izrađuje ih operativna priprema ili služba raspodjele rada u pogonima, odnosno obje ove službe. To zavisi o karakteru proizvodnje.

Ako obje spomenute službe izrađuju terminske planove, onda je podjela takva da za one proizvode (odnosno dijelove) čiji je ciklus proizvodnje duži, tj. 6—14, pa i više dana, terminske planove izrađuje operativna priprema, a za ostale služba raspodjele rada.

Da bi se proizvodnja mogla planirati, potrebno je utvrditi raspoložive kapacitete, materijal, ljude i energiju te raspoloživo tržište, odnosno zahtjeve tržišta. Osim toga treba imati na

raspolaganju tehnološku dokumentaciju. Planiranje proizvodnje zapravo i nije ništa drugo nego usklađivanje tih faktora koje smo nabrojili kako bi se mogao postići najpovoljniji rezultat.

1 — Utvrđivanje raspoloživih kapaciteta

Proizvodni kapaciteti utvrđuju se tako da se od teoretski raspoloživog fonda sati radnih mjesta odbiju svi vjerojatni i mogući gubici vremena. Da bismo to mogli učiniti s dovoljnom vjerojatnošću, moramo imati dobro organizirano praćenje događaja u proizvodnji.

Kod kapaciteta se kao teoretski fond sati uzima kalendarski broj dana pomnožen s onolikim brojem smjena koliko ih je moguće ostvariti, tj. u koliko se smjena može raditi s obzirom na prilike i broj sati u smjeni. Od tog fonda sati treba odbiti sve gubitke, a to su:

- državni praznici i nedjelje, ako se na te dane ne radi
- planski popravci strojeva i uređaja
- zastoji zbog redovitog čišćenja i pregleda strojeva
- razni nepredviđeni zastoji u radu (podaci o tome dobivaju se na temelju statističkog praćenja prošlih događaja).

2 — Utvrđivanje raspoloživog materijala

Raspoloživ materijal utvrđujemo na temelju kartoteke materijala koja se nalazi ili u operativnoj pripremi ili u skladištu materijala. Pri tome moramo uzeti u obzir onaj materijal kojemu dospijevaju rokovi isporuke u vremenskom razdoblju za koji izrađujemo plan. Pobliže o tome vidi u poglavlju »Planiranje materijala«.

3 — Utvrđivanje broja raspoloživih ljudi

Broj raspoloživih ljudi utvrđuje se tako da se sva radna snaga zbroji po strukama i po kvalifikacijama te utvrdi teoretski fond sati po tako formiranim skupinama. Teoretski fond sati je kalendarski broj dana u planskom razdoblju, pomnožen brojem sati u smjeni. Od tog broja odbijaju se svi vjerojatni, mogući gubici, a to su:

- državni praznici i nedjelje, ako se na te dane ne radi
- godišnji odmori (potrebno je istražiti koliko oni stvarno iznose u pojedinom planskom razdoblju)
- bolovanja i povrede (dobiju se statističkim praćenjem prošlih događaja)
- neplaćeni dopusti, izlasci, neopravdani izostanci itd. (dobiju se također statističkim praćenjem prošlih događaja).

4 — Raspoloživa energija

Raspoloživa energija utvrđuje se na sličan način kao i materijal, tj. iz podataka koje prikuplja služba energetike u poduzeću.

5 — Raspoloživo tržište, odnosno zahtjevi prodaje

Raspoloživo tržište, tj. koje bi se vrste proizvoda i u kojim količinama mogle prodati u jednom planskom razdoblju, sve to treba znati prije nego što se počne samom izradom plana.

6 — Tehnološka dokumentacija

Za sva planiranja proizvodnje neophodno je imati na raspolaganju u određenoj formi izrađenu tehnološku dokumentaciju.

Za godišnje i kvartalne planove dovoljni su normativi, i to: normativi materijala, vremena i energije, a za mjesečne i terminske planove neophodno je nužno imati i operacijske listove, sheme montaža i redoslijed montaža.

1	2	Stroj / Količina Komada 3	1 540 4	2, 7 1 050 5	3 460 6	4 470 7	5, 8 980 8	6 490 9	9, 10, 11, 14 1 910 10	12, 17, 18, 19, 20 2 110 11	13 420 12	15 430 13	16 440 14
1	A–417	200	—	200	100	—	50	—	200	400	—	—	—
			540	850	360	470	930	490	1 710	1 710	420	430	440
2	A–317	200	100	—	—	100	100	50	200	200	50	—	40
			440	850	360	370	830	440	1 510	1 510	370	430	400
3	A–512	150	—	50	40	—	30	30	100	200	40	20	20
			440	800	320	370	800	410	1 410	1 310	330	410	380
4	A–613	120	40	60	—	50	40	—	—	100	—	30	—
			400	740	320	320	740	410	1 410	1 210	330	380	380
5	A–614	100	40	60	20	50	40	—	—	100	30	20	40
			360	680	300	270	700	410	1 410	1 110	300	360	340
6	A–624	100	100	—	—	100	50	30	200	—	—	60	20
			260	680	300	170	650	380	1 210	1 110	300	300	320
7	B–125	100	30	120	60	—	150	60	100	200	—	40	20
			230	560	240	170	500	320	1 110	910	300	240	300
8	B–173	80	40	80	100	—	100	60	110	70	20	40	80
			190	480	140	170	400	260	1 000	840	280	200	220
9	B–213	80	60	40	80	—	60	—	150	100	40	50	60
			130	440	60	170	400	200	850	740	240	150	160
10	B–311	70	70	120	40	30	100	20	100	150	60	50	04
			60	320	40	140	300	180	750	590	180	100	120
11	B–316	60	60	80	—	—	100	—	120	100	—	—	—
			—	240	40	140	200	180	630	490	180	100	120
12	B–318	50	—	40	20	30	50	40	80	100	60	40	40
			—	200	20	110	150	140	550	390	120	60	80
13	B–325	40	—	40	20	40	—	80	100	100	30	60	40
			—	160	—	70	150	60	450	290	90	—	40
14	B–330	40	—	60	—	70	50	60	100	60	30	—	40
			—	100	—	—	100	—	350	230	60	—	—
15	B–349	20	—	80	—	—	40	—	100	180	30	—	—
			—	20	—	—	60	—	250	50	30	—	—
	Ostaje			20			60		250	50	30		

④ Pregled kapaciteta za mjesec dana

42.411 Izrada planova proizvodnje

Kad imamo sve one elemente koje smo nabrojili u prethodnom poglavlju, možemo započeti planiranjem proizvodnje. U tu svrhu služimo se formularom prikazanim na ④.

Kao prvo planiramo kapacitet. U spomenuti formular po horizontali (u glavi formulara) unosimo oznake radnih mjesta (strojeva ili uređaja, postrojenja itd.), i to tako da ih sve unesemo u istu rubriku ako se radi o potpuno istovrsnim strojevima u pogonu. U rubriku ispod naziva strojeva unosimo raspoloživi fond sati za te strojeve, a to je, kako znamo, teoretski fond sati umanjen za sve gubitke (vidi 42.41).

Nakon toga ispunjavamo vertikalne kolone. U kolonu 1 upiše se redni broj proizvoda, u kolonu 2 naziv ili oznaka proizvoda, a u kolonu 3 količina komada ili tona, tj. ona količina koju predvida prodaja. Proizvode upisujemo redom, i to tako da se kao prvi upišu oni proizvodi koji su najvažniji s ekonomsko-tehnološkog stajališta, tj. oni koji nam donose najviše dobiti, zatim oni kojih ima najviše ili se najlakše proizvode, odnosno oni za koje smo vezani čvrstim rokovima i koji se bezuvjetno moraju u određenom vremenu proizvesti. Nakon toga uzimaju se normativi strojnih vremena za te opisane proizvode pa se oni pomnože sa traženom količinom. Tako dobivene vrijednosti upisujemo u gornji red kolone strojeva. Ti brojevi znače zauzeće nekog stroja proizvodnjom određene količine proizvoda, a taj se iznos mora odbiti od naznačene količine. Ostatak je slobodni kapacitet stroja nakon proizvodnje artikla iz tog reda, pa se upisuje u donju polovicu reda. Taj postupak ponavljamo tako dugo dok ne iscrpimo sve raspoložive kapacitete.

Pošto smo na taj način uskladili kapacitete proizvodnje sa željama prodaje, moramo vidjeti kako stojimo s ljudima.

Za planiranje potrebnog broja ljudi možemo se služiti istim formularom, samo ćemo umjesto radnih mjesta upisivati ljude po strukama i po kvalifikacijama. Zatim izračunamo raspoloživi fond ljudskih sati, a daljnji postupak potpuno je jednak prije opisanom.

Na kraju moramo još proizvodni plan uskladiti s raspoloživim sirovinama i materijalima. I ovdje se možemo služiti istim formularom ④, samo što umjesto strojeva upisujemo materijale, a umjesto raspoloživih sati unosimo podatke o raspoloživim količinama materijala. Zatim prema proizvodima radimo odgovarajuće normative materijala i onda na temelju normativa utvrđene potrebne količine materijala odbijamo od raspoloživih količina tako dugo dok ne iscrpimo sve zalihe ili dok ne stignemo do kraja svih proizvoda i količina dobivenih na temelju proračuna kapaciteta.

Kad su ta četiri elementa (tj. zahtjev prodaje, kapaciteti, ljudi i materijal) usklađeni, onda dobivene količine znače realan plan proizvodnje.

42.412 Termíniranje

Terminiranje je određivanje rokova izrade po operacijama za svako radno mjesto ili za skupinu radnih mjesta. Svrha mu je da uskladi opterećenje radnih mjesta i da se osigura najbrži tok materijala kroz proizvodnju. Pravilno terminiranje treba osigurati prvenstveno iz ovih razloga:

- da se proizvodnja dijelova odvija nesmetano i da ne bude čekanja pri prijelazu iz operacije na operaciju;
- da se dijelovi izrađuju onim redoslijedom koji je predviden terminskim planom tako da montaža podsklopova, sklopova i samih proizvoda teče nesmetano.

Preduvjet za pravilno terminiranje je postojanje realnog plana proizvodnje, odgovarajuća tehnološka dokumentacija (operacijski list, shema i redoslijed montaže) i odgovarajuće praćenje proizvodnje.

Postoji više metoda za terminiranje proizvodnje, kao što su: terminiranje pomoću gantograma, terminiranje na načelu izuzetaka, PERT, CPM i druge. Ovdje ćemo obraditi terminiranje putem gantograma.

Gantogram je dijagram na kome se prikazuje odnos: vrijeme — proizvod — element terminiranja (stroj, čovjek itd.). U nekim slučajevima mogu se na gantogramu prikazati i količine, odnosno postotak izvršenja zadatka.

Da bismo mogli terminirati putem gantograma, moramo:

- imati tehnološku dokumentaciju razrađenu za svaki proizvod, odnosno za dio proizvoda (operacijski list)
- poznavati mogućnost proizvodnje svakog radnog mjesta, tj. kad će nastupiti zastoji i koliko će trajati
- poznavati zauzeće radnih mjesta zadacima iz prethodnog razdoblja
- odrediti načelni prioritet proizvoda, tj. koje proizvode smatramo važnijima, odnosno manje važnima
- utvrditi u kojem su odnosu pojedini proizvodi u pogledu rokova dovršenja.

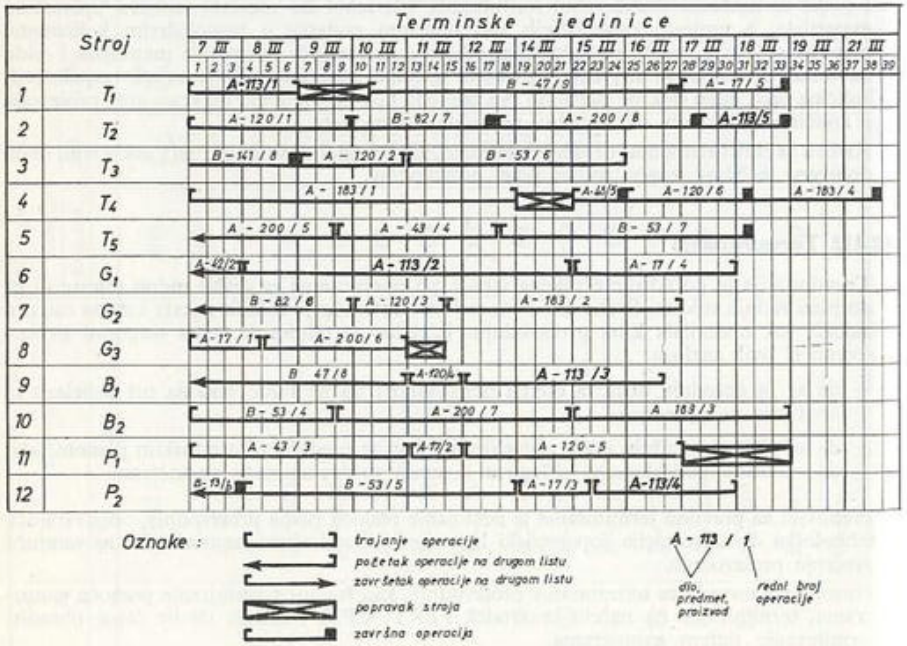
Elementi i način sastavljanja gantograma

Vrijeme izrade pojedinog dijela, sklopa ili samog proizvoda, tj. dužina trajanja radne operacije, označuje se u gantogramu u terminskim jedinicama (tj). To su vremenske jedinice odabrane po želji tako da budu prikladne za terminiranje. Najčešće se za terminsku jedinicu uzima 1 sat, 8 sati i 1 dan. Sva vremena se prije unošenja u gantogram moraju pretvoriti u terminske jedinice, koje se nanose po apscisi na dijagram.

Proizvod, odnosno njegov dio unosi se u gantogram pomoću ravne crte, čija dužina prikazuje vrijeme trajanja izrade u terminskim jedinicama. Da bi se znalo o kojem se proizvodu radi, iznad crte se upiše broj (šifra) proizvoda ili se crta vuče u drugoj boji ako se ona odnosi na drugi proizvod.

Element terminiranja može biti različit, no najčešće su to strojevi, odnosno radna mjesta u pogonu. Oni se nanose na ordinatu dijagrama.

Primjer: izrada terminskog plana za nekoliko proizvoda.



⑤ Terminski plan za nekoliko proizvoda

Na prikazanom gantogramu ucrtano je nekoliko proizvoda, a mi ćemo prikazati terminski plan proizvoda A-113. Iz gantograma se vidi da se taj proizvod izrađuje pomoću pet radnih operacija, koje se obavljaju na raznim strojevima. Vidi operacijski list ③. Iz plana proizvodnje znamo da treba proizvesti 200 komada toga proizvoda. Veličina terminske jedinice je 8 sati ili jedna smjena. Prema tome, podatke iz operacijskog lista moramo pomnožiti sa 200 i podijeliti sa 8, da bismo dobili broj potrebnih terminskih jedinica. U ovom primjeru ćemo zanemariti pripremno završna vremena jer su ona vrlo mala, no inače bi ih trebalo uzeti u obzir.

1 — operacija, stroj T_1 $\quad tj = \dfrac{0{,}24 \cdot 200}{8} = 6$

2 — operacija, stroj G_1 $\quad tj = \dfrac{0{,}72 \cdot 200}{8} = 18$ itd.

Te terminske jedinice ucrtavamo u gantogram prema raspoloživu prostoru, pazeći na redoslijed operacija.

Iz ovog primjera se vidi da se operacije prekrivaju, a to znači da slijedeća operacija počinje prije nego što je prethodna na svim proizvodima završila.

Iz gantograma možemo sada očitati i rokove dovršenja, i to tako da pogledamo kada završavaju posljednje operacije na proizvodima. Takve operacije označene su posebnom oznakom.

42.413 Određivanje rokova

Ako imamo proizvodnju terminiranu putem gantograma, rok dovršenja dijela ili samog proizvoda možemo očitati iz gantograma. Međutim, kako vrlo često zbog raznih razloga nemamo proizvodnju gantogramski razrađenu, a rokove ipak na neki način moramo unaprijed odrediti, potrebno je da se služimo određivanjem rokova pomoću koeficijenta prolaza.

Koeficijent prolaza je odnos između stvarnog vremena (T_d), tj. onog vremena koje protekne od uzimanja predmeta u posao pa sve do dovršetka, izraženog u danima, i planiranog vremena (T_p), tj. onog vremena koje je potrebno za izvršenje svih operacija.

$$K = \frac{T_d}{T_p} \qquad K = \text{koeficijent prolaza.}$$

Prilikom određivanja rokova koeficijentom prolaza služimo se na taj način da za neku količinu proizvoda najprije ustanovimo planirano vrijeme izrade. To se ustanovljuje na temelju tehnološke dokumentacije, tj. normativa vremena. Zatim to vrijeme pomnožimo koeficijentom prolaza za tu grupu proizvoda i tako dobivamo T_d ili vrijeme u danima, kad će taj proizvod (ili dio) biti gotov. No da bismo se mogli služiti spomenutim koeficijentom prolaza, potrebno je najprije odrediti ga.

Određivanje koeficijenta prolaza

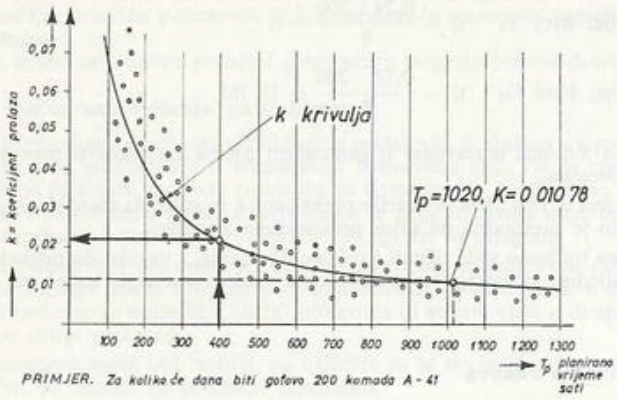
Koeficijent prolaza određuje se na ovaj način:

1 — proizvodi se grupiraju u tehnološki slične skupine; to su one skupine proizvoda koje se proizvode na istim skupinama strojeva, u istim pogonima i na približno isti način;

2 — za te skupine proizvoda izradi se radna dokumentacija iz prošlog razdoblja; najbolje je uzeti razdoblje od dvije godine;

3 — za svaki proizvodni nalog iz prošlog razdoblja izračuna se koeficijent prolaza.

Na primjer radni nalog 213. Radi se o 300 proizvoda A-118. Proizvodnja je trajala od 17. VI do 28. VI. To znači da je T_d 11 dana. Iz normativa vremena ustanovili smo da je planirano vrijeme (T_p) za tih 300 proizvoda bilo 1 020 sati. Prema tome, koeficijent prolaza $K = \frac{11}{1\,020}$ ili 0,010 78. To se mora učiniti za sve proizvode spomenute skupine toliko puta koliko puta su se ti proizvodi u prošlom razdoblju proizvodili.



⑥ Dijagram za određivanje koeficijenta prolaza

4 — Nacrta se dijagram prema ⑥. Ordinata prikazuje koeficijent prolaza u nekom mjerilu, a apscisa planirano vrijeme, također u nekom mjerilu. Za svako planirano vrijeme izračunato prema članu 3 odgovara jedan određeni koeficijent prolaza, koji se prikazuje točkom. Na taj način unosimo u dijagram čitav niz točaka. Područje dijagrama podijelimo na niz jednakih segmenata (barem 13) i tražimo srednju vrijednost točaka obuhvaćenih jednim segmentom s obzirom na apscisu. Srednju vrijednost nanesemo u sredinu segmenta i tako dobivene točke spajamo pravcima. Prvo dobivamo izlomljenu krivulju, a zatim zagladujemo krivulje sve dok ne dobijemo posve pravilnu krivulju, koja se zove krivulja K. (O tehnici tog postupka vidi: Opći praktičar A-17) Pomoću te krivulje možemo za svaki svoj slučaj odrediti koeficijent K, a na temelju njega i rok.

Pored koeficijenta K u literaturi je poznat i koeficijent prolaza f. Dobiva se i upotrebljava na isti način kao i koeficijent K. Razlika je u tome što pomoću koeficijenta K dobivamo rok u danima, tj. T_d su dani, a kod koeficijenta f dobivamo rok u satima, tj. T_d su sati. Za praktičnu upotrebu prikladniji je koeficijent K.

42.42 PRIPREMA MATERIJALA

Priprema materijala je također funkcija operativne pripreme, koja može, ali i ne mora biti organizirana kao posebna služba ili odjel. Najčešći je slučaj da se ona nalazi u sastavu operativne pripreme.

Priprema materijala treba da obavlja ove poslove:

1 — planira materijal u skladu s planiranjem proizvodnje
2 — naručuje materijal od nabavnog odjela
3 — izdaje dokumentaciju za materijal
4 — utvrđuje i prati potrebne količine materijala na skladištu, odnosno vodi brigu o tome da na skladištu ne bude previše materijala.

Pojam »materijal« obuhvaća: sirovinu, poluprerađevine i dijelove koji se ugrađuju u proizvod ili od kojih se proizvod izrađuje.

42.421 Planiranje materijala

Preduvjet za planiranje materijala je postojanje razrađene tehnološke dokumentacije (normativa materijala) i postojanja plana proizvodnje.

Planiranje se provodi tako da se na formularu, koji je sličan onome na slici 42.411 — ④, u vertikalni stupac upišu proizvodi, a u horizontalne redove potrebne količine materijala. Postupak je vrlo sličan onome koji smo opisali u 42.411 o planiranju kapaciteta. U glavu formulara se umjesto strojeva upisuju materijali, a ispod njih raspoložive količine materijala. Zatim se od tih raspoloživih količina odbijaju potrebne količine. Razlika je samo u tome što potrebne količine mogu i smiju biti veće od raspoloživih količina. Tu negativnu razliku u formularu označavamo sa — (minus), a to su zapravo one količine koje u planskom razdoblju treba nabaviti, tj. naručiti ih od nabavnog odjela.

42.422 Izdavanje materijalne dokumentacije

Da bi priprema materijala mogla pratiti utrošak materijala za pojedine proizvodne zadatke i pravodobno naručivati novi materijal, ona mora imati evidenciju o stanju zaliha i organizirano praćenje utroška. Utrošak materijala prati se putem materijalne dokumentacije, a to su dokumenti kojima se materijal podiže sa skladišta, odnosno vraća onamo ako nije utrošen.

42.423 Praćenje zaliha na skladištu

Za praćenje zaliha na skladištu služi kartoteka materijala. U poduzećima kojima je za proizvodnju potrebno mnogo različitih vrsta materijala, u pripremi rada ne postoji kartoteka za sve materijale, nego samo za one najvažnije. Najvažniji materijali odabiru se na temelju tzv. »Paretove hipoteze«. Prema toj hipotezi najveću vrijednost ima svega nekoliko vrsta materijala pa je za ekonomično praćenje utroška dovoljno da se te vrste materijala prate vrlo precizno, dok to kod ostalih, manje važnih vrsta, nije potrebno.

U uskoj vezi s praćenjem količina materijala na skladištu jest i određivanje roka ili veličine kad je potrebno slati narudžbu za novi materijal i određivanje koju količinu treba naručiti.

Postoji nekoliko sistema za utvrđivanje tih veličina, odnosno rokova.

1 — **Sistem planske raspodjele**

Sistem planske raspodjele pretpostavlja da postoji čvrst plan proizvodnje i dobra tehnološka dokumentacija.

Plan proizvodnje za duže razdoblje, obično od godine dana, razbija se na mjesece. Sastave se pregledi po pojedinim vrstama materijala, u koje se točno upišu količine proizvoda s potrebnim količinama materijala koji će biti potreban u nekom mjesecu ili tjednu. Zatim se na temelju rokova isporuke točno odredi vrijeme kad će se koja narudžba slati.

Za funkcioniranje tog sistema potrebno je osim već navedenih uvjeta imati i vrlo dobre dobavljače, tj. one koji se pridržavaju dogovorenih rokova.

2 — Sistemi na temelju karakterističnih veličina

To su sistemi kod kojih na razne načine određujemo karakteristične veličine, a to su: krajnja rezerva, signalna količina i maksimalna količina materijala na skladištu. Uvjet za postavljanje je neka cikličnost utroška materijala u toku duljeg vremena.

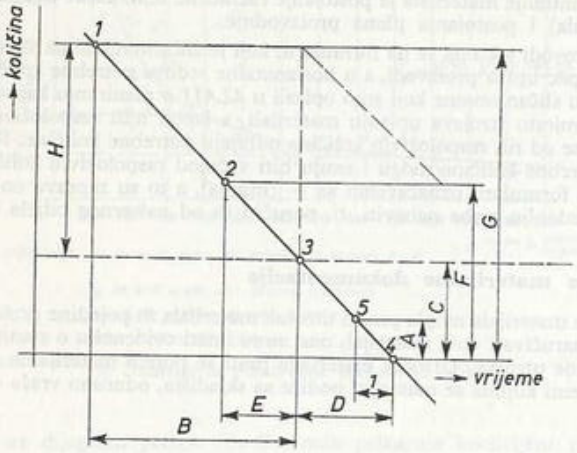
Karakteristične veličine dobiju se očitavanjem iz dijagrama ⑦

C — krajnja rezerva

F — signalna količina, tj. ona količina zaliha koja postoji u vrijeme kada treba poslati novu narudžbu.

H — količina koju treba naručiti.

G — maksimalna količina koja smije biti na skladištu.



⑦ Utvrđivanje karakterističnih veličina na temelju rokova isporuke

Dijagram se crta na temelju ovih veličina:

A — utrošak materijala u jedinici vremena

D — prekoračenje roka isporuke

E — normalan rok isporuke

B — vrijeme potrebno za izradu prosječne serije proizvoda.

Crtanje dijagrama počinje tako da se na apscisi proizvoljno odabere točka 4. Iz te točke nanese se ulijevo jedinica vremena (dan ili tjedan) i digne okomica. Na tu okomicu nanese se utrošak materijala u jedinici vremena i tako dobije točka 5. Točka 4 i 5 spoje se u pravac. Zatim se iz točke 4 nanese po apscisi veličina D (prekoračenje roka isporuke) i digne okomica do presjecišta s prije spomenutim pravcem. Tako se dobije točka 3. Udaljenost te točke od apscise čini veličinu C, tj. krajnju rezervu.

Na dužini D na apscisi nanese se zatim veličina E ili normalan rok isporuke. Okomica dignuta s tog mjesta siječe pravac u točki 2, a udaljenost te točke od apscise je veličina F (tj. signalna količina). Ako na dužinu D nanesemo veličinu B (vrijeme izrade prosječne serije) i podignemo okomicu, dobijemo na pravcu točku 1, čija udaljenost od apscise označava veličinu G, tj. maksimalnu dopuštenu količinu na skladištu. I na kraju, veličinu H ili količinu za narudžbu kazuje razlika dužina G i C.

Da se za svaki materijal ne bi morao crtati poseban dijagram, te veličine mogu se izraditi pomoću jednostavnih matematičkih jednadžbi jednostavnim očitavanjem iz dijagrama:

$$C = A \times D$$
$$F = A \times (D + E) = C + (E \times A)$$
$$H = A \times B = G - C$$
$$G = C + H.$$

— Određivanje karakterističnih veličina na temelju podnošljivog rizika

Taj sistem temelji se na tome da se za pojedine slučajeve izračuna vjerojatnost da proizvodnja ostane neko vrijeme bez materijala. To znači da, na primjer, riskiramo da u 1% vremena tokom godine ostanemo bez materijala. Na temelju proračuna tog rizika možemo onda zaključiti kakve će nam biti zalihe.

— Određivanje karakterističnih veličina na temelju minimuma gubitaka

U ovom slučaju izračunavaju se troškovi koje bismo imali ako zbog pomanjkanja nekog materijala ne bismo mogli raditi te troškovi koje nam donosi uskladištenje materijala. Traže se ona rješenja koja omogućavaju izravnanje spomenutih troškova. Tako dobivena količina zalihe je minimum gubitaka poduzeća.

Pošto smo se odlučili za neki od navedenih sistema, moramo osnovati kartoteku materijala, tj. ispostaviti ćemo kartice za svaki materijal koji želimo precizno pratiti.

42.43 RADNA DOKUMENTACIJA

Radna dokumentacija sastoji se od niza dokumenata koji prenose informacije iz pripreme rada u proizvodnju te služe za evidentiranje i praćenje toka rada te toka materijala u proizvodnji i u ostalim službama poduzeća.

Radni nalog

Radni nalog je osnovni dokument, na temelju kojeg se obavlja rad u proizvodnji. On označava nosioca troška, količinu i rok proizvodnje. Osim toga, na njemu se mogu nalaziti tehnički podaci o proizvodu, opis tehnološkog procesa i drugi podaci.

42.432 Radni list

Radni list služi za evidentiranje posla na svakom radnom mjestu i za svaku radnu operaciju. Na njemu se nalaze osnovni podaci o operaciji, o materijalu i o vremenu izrade ⑧. Poleđina tog lista služi za evidentiranje vremena utrošenog za tu operaciju i izrađenog broja komada. Pomoću radnih listova provodi se raspodjela poslova po radnim mjestima. Radni list može se dobiti preštampavanjem s matrice operacijskog lista pomoću postupka »Ormig«.

Broj radnog naloga		Količina komada		Datum izdavanja		Rok završetka						
Naziv proizvoda		Crtež broj	Naziv dijela			Crtež broj		Dio broj				
Materijal (oznaka po standardu)			Sirove dimenzije			Kalkulativna količina za 1 kom			Ukupna količina R.N			
Red. broj	Odjel	Radno mjesto	OPIS OPERACIJE	Alati, naprave, mjerila, smještaj		T_{pz}	t_j	% škarta	Plaćenih komada	Sati		
									Za isplatu	Potpis poentera		
RADNI LIST			Ime radnika i broj	Tarifni stav	Potpis poslovođe	Dodatak na normu		Knjižio	Kontrolirao			

⑧a Radni list »ORMIG«

Datum	Radio od	do	Ukupno sati	Komada dobrih	loših	Šifra uzroka škarta	Žig kontrole

(8) b Poleđina radnog lista »ORMIG«

42.433 Terminska karta

Terminska karta služi za utvrđivanje termina dovršenja pojedinih operacija. Prema njoj se prati rad na pojedinim operacijama te organizira dovoz i odvoz materijala i alata do radnih mjesta i između njih. Ta karta služi također poslovodi ili dispečeru za pripremu radnih listova.

Terminska karta može se također dobiti preštampavanjem pomoću sistema »Ormig«.

42.434 Popratna karta (prateća karta)

Zadatak je tog dokumenta da prati materijal kroz sve radne operacije. Pomoću njega identificiramo materijal, tj. utvrđujemo kakav je to materijal, koje su radne operacije na njemu izvršene i za koji radni nalog služi.

I taj dokument može se dobiti postupkom »Ormig«.

Osim spomenutih radnih dokumenata postoje još i drugi, kao što je karta alata, pregled materijala, karta transporta i drugi, specifični za pojedine grane u industrii.

UNTERWEGER Žarko, dipl. inženjer elektrotehnike

STUDIJ RADA

43.1 UVOD 1063
43.2 STUDIJ I ANALIZA VREMENA 1063
Zadaci, definicija i svrha norme — Sastavni elementi vremena izrade i norme, koeficijenti dodatnog vremena — Procjena zalaganja — Snimanje kronometrom i s procjenom zalaganja — Ostale metode utvrđivanja vremena — Snimanje gubitaka u radu — Izvršenje normi i njihova realnost
43.3 POJEDNOSTAVNJENJE RADA 1086
Svrha, potreba i faze pojednostavnjenja — Izbor problema — Izračunavanje koristi — Prikupljanje činjenica — Proučavanje i razrada poboljšanog načina rada — Provedba poboljšanog načina rada — Standardizacija rada

Literatura

1 — *Taboršak:* Studij rada
2 — *Taboršak — Buchberger:* Studij rada
3 — *Siegerist — Foellmer:* Proračunavanje vremena obrade
4 — *Maynard:* Sistemi unaprijed utvrđenih vremena
5 — *Maynard:* Oblikovanje rada
6 — *Barnes:* Studij vremena i pokreta

OZNAKE

c	— parametar (ovisan o pouzdanosti i točnosti)
i	— širina razreda, broj prijelaza
K_n, K_a, K_d	— koeficijenti dodatnog vremena
K_{pz}	— faktor procjene zalaganja
K_s	— faktor stabilizacije
n	— potreban broj snimanja
n_p	— pokusni broj očitavanja u snimku
p	— udio gubitaka
t	— pojedinačno očitano vrijeme, srednja vrijednost vremena razreda za $d = 0$, parametar normalne razdiobe
t_d	— dodatno vrijeme
t_i	— vrijeme izrade
t_j	— vrijeme za jedinicu (norma)
t_{max}	— maksimalno vrijeme u pokusnom snimku
t_{min}	— minimalno vrijeme u pokusnom snimku
T_n	— vrijeme za nalog
t_n	— normalno vrijeme
t_o	— srednje očitano vrijeme
t_p	— pomoćno vrijeme
T_{pz}	— pripremno-završno vrijeme
t_s	— stvarno vrijeme
t_t	— tehnološko vrijeme
z_n	— broj jedinica na nalogu
ε_r	— relativna greška
σ	— standardna devijacija

43 STUDIJ RADA

43.1 UVOD

Studij rada definira se kao metoda naučnog, logičnog, cjelovitog i sistematskog proučavanja rada. Svrha mu je pronaći najekonomičniji način rada i odrediti prosječno vrijeme za određenog kvalificiranog radnika srednje uvježbanosti. Ipak tako definiran studij rada nije dovoljno jasan. Mnogi će reći da je navedeni način rada ostvaren samim tim što to svaka radna skupina, odnosno radna jednica ima u svom zadatku. Moderna, dalekosežna podjela rada ima kao svrhu specijalizaciju na uzak dio cjelokupnog proizvodnog odvijanja u poduzeću. Sve funkcije u proizvodnji usmjerene su na **ostvarenje** proizvodnje u svom dijelu, kao što je, na primjer konstrukcija usmjerena na oblikovanje proizvoda, tehnologija na definiranje procesa, a proizvodnja na izradu proizvoda. Studij rada svojim metodama sakuplja učinak tih funkcija na radnim mjestima u svrhu **pronalaženja** ušteda. To je, dakle, **koordinacija** onih koji utječu na rad usaglašavanjem svih činjenica snimljenih na određenom problemu.

U ovom sažetom prikazu studija rada prikazat ćemo najpovoljnije metode, postupke i načela za širu primjenu u proizvodnji. Ostale je moguće samo dotaknuti ili uputiti na literaturu.

Podjela. Cijelo područje studija rada dijelimo:

1 — na studij i analizu vremena i
2 — na pojednostavnjenje rada sa svrhom da se smanji zamor i poveća sigurnost, da se smanje troškovi i poveća produktivnost.

Studij i analiza vremena imaju svrhu da se određenim metodama utvrdi vrijeme za prosječnog radnika.

Pojednostavnjenje rada ima zadatak da se odredi najjednostavniji način rada, uzevši pri tome u obzir, sve faktore proizvodnje tj. čovjeka, materijal i sredstva rada.

43.2 STUDIJ I ANALIZA VREMENA

43.21 ZADACI, DEFINICIJA I SVRHA NORME

43.211 Zadaci. Da bi se postigla navedena svrha (utvrditi vrijeme za prosječnog radnika), studij i analiza vremena ima ove zadatke:

— utvrditi vrijeme izrade i normu
— analizirati utvrđeno vrijeme
— analizirati gubitke u radu
— izračunati vrijeme i unijeti podatke u tabele i dijagrame.

43.212 Definicija norme. Norma je vrijeme potrebno prosječno i određeno uvježbanom kvalificiranom radniku da:

— izvrši točno definirani posao
— upotrebljava određena sredstva rada
— radi na točno propisani način u određenim pogonskim okolnostima uz normalno zalaganje i zamor.

Pojmovi »normalno« i »prosječno« ne smiju se poistovjetiti, a njihove vrijednosti nisu direktno mjerljive, nego proizlaze iz mjerenih podataka analizom pomoću pravila matematske statistike i mjere normalnog zalagania. Izraz »normiranje« napuštamo za utvrđivanje vremena koje je do sada obavljao normirac jer to prema podacima studija vremena radi tehnolog.

43.213 Svrha i značenje norme sastoji se u tome što su ispravne norme baza za planiranje rokova, za određivanje opterećenja radnih mjesta, za određivanje troškova proizvodnje i za stimulaciju radnog učinka. Norme su, dakle, organizacijsko sredstvo, a ne samo mjerilo nagradivanja.

43.22 SASTAVNI ELEMENTI VREMENA IZRADE I NORME

Napomena. Velika slova označavaju elemente koji se odnose na više jedinica proizvoda, npr. na seriju, a mala slova na elemente za jedinicu. Za jedinicu mjerenja proizvoda uzima se jedinica kojom se mjeri proizvod u operaciji za koju se određuje vrijeme. To mogu biti komadi, metri, tone, kilogrami i drugo.

T_{pz} = **pripremno-završno vrijeme,** potrebno za pripremu radnog mjesta za određeni rad te za uređenje tog mjesta nakon izvršenog rada. To može raditi proizvodni ili poseban radnik — udešivač. Trajanje ovisi o vrsti radnog mjesta, o mehanizaciji i o organizaciji proizvodnje.

t_t = **tehnološko vrijeme;** troši se na zahvat u kojem materijal mijenja oblik, izgled, sastav ili položaj u smislu operacije. To može biti strojno (t_s), strojno-ručno (t_{sr}) ili ručno vrijeme (t_r).

t_p = **pomoćno vrijeme,** tj. ono vrijeme koje se troši na zahvate koji omogućavaju izvođenje tehnološkog rada, a u smislu operacije materijal se ne mijenja. To su npr. upinjanje i odlaganje komada, pokretanje i zaustavljanje stroja, otvaranje ili stezanje naprave i slično.

t_d = **dodatno vrijeme,** tj. vrijeme opravdanih gubitaka koji se pojavljuju u toku rada. Uzimamo ih u obzir sa tri koeficijenta dodatnog vremena.

43.221 Koeficijenti dodatnog vremena

K_n = **koeficijent zamora**; ovisi o svladavanju tereta, o položaju tijela, o načinu rada i o monotoniji. Uzima se za svaki zahvat iz tablica 43.221—1. i 2.

Primjer: teret od 6 kp podiže se s visine 70 cm. Kolik je K_n? — U tablici 1. nalazimo pod rednim brojem 4 u koloni 5—10 kp da je za visine 41—80 cm K_n = = 0,20.

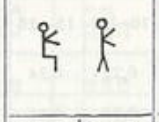
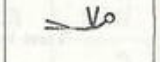
K_a = **koeficijent djelovanja okoline;** ovisi o temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka, što zajedno djeluje kao efektivna temperatura, te o utjecajima na okolinu. Služimo se tablicama 43.221—3. i 4.

Primjer: kolik je K_a za temperaturu 23°C i za relativnu vlažnost od 60%? Kolik je K_a ako uz to još imamo uočljivu zaprašenost? U tablici 3. naći ćemo efektivnu temperaturu 19,5°C. Za tu temperaturu u tablici 4. nalazimo K_a = = 1,15. U drugom slučaju dobivamo K_a = 1,5, pa njega i uzimamo jer je veći i pokriva djelovanje temperature i relativne vlage.

Taj se koeficijent uzima u obzir samo kad je utjecaj okoline prouzročio tehnološki proces.

K_d = **dopunski koeficijent;** sadržava propisani odmor, osobne potrebe i organizacione gubitke. Propisani odmor ne ulazi u K_d ako se u evidenciji efektivnih sati, tj. sati provedenih na radu po učinku, ne uključuje vrijeme odmora, već se ono posebno evidentira. Organizacijski gubici jesu skupina gubitaka, kao: upute u vezi s poslom, nestašice materijala, pogonske energije, čekanje na transport ili kratak popravak stroja i sl. Oni nastupaju kratkotrajno i neredovito pa se ne mogu posebno evidentirati. Svaki duži zastoj koji prelazi prosječan postotak tih gubitaka mora se posebno evidentirati.

Tablica 1.

	KOEFICIJENTI DODATNOG VREMENA							List 1/4
Način rada	Koeficijent zamora							K_n
1. Sjedenje ili stajanje uz rukovanje alatima ili predmetima			Teret koji treba svladati (kp)					
	do 5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40
	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29
2. Obavljanje rada u klečećem položaju			Teret koji treba svladati (kp)					
	do 5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40
	0,30	0,33	0,35	0,37	0,40	0,42	0,44	0,47
3. Obavljanje rada u ležećem položaju			Teret koji treba svladati (kp)					
	do 5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40
	0,41	0,44	0,46	0,49	0,51	0,54	0,56	0,59
4. Podizanje — skidanje tereta s raznih visina			Teret koji treba podići ili skinuti (kp)					
	do 5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40
do 40 cm	0,24	0,25	0,27	0,30	0,33	0,36	0,40	0,44
41— 80 cm	0,18	0,20	0,23	0,26	0,30	0,34	0,38	0,44
81—120 cm	0,15	0,17	0,20	0,24	0,28	0,33	0,39	0,46
121—160 cm	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30	0,37	0,44	0,53
161—180 cm	0,17	0,19	0,22	0,27	0,34	0,42	0,52	—

Tablica 2.

KOEFICIJENTI DODATNOG VREMENA									List 2/4
Način rada		Koeficijenti zamora							K_n
5. Pomicanje ili vučenje tereta na raznim visinama		Teret koji treba svladati (kp)							
Visina na kojoj se nalazi teret	Trajanje rada	do 5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40
do 40 cm	kratko	0,18	0,19	0,22	0,24	0,27	0,30	0,33	—
	dugo	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,42	—
41— 80 cm	kratko	0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,27	0,31	—
	dugo	0,18	0,21	0,24	0,21	0,30	0,34	0,38	—
81—120 cm	kratko	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,23	0,26	—
	dugo	0,13	0,16	0,19	0,22	0,26	0,31	0,37	—
121—160 cm	kratko	0,11	0,13	0,15	0,18	0,21	0,24	0,28	—
	dugo	0,13	0,16	0,20	0,24	0,29	0,36	—	—
161—180 cm	kratko	0,13	0,15	0,18	0,22	0,27	—	—	—
	dugo	0,16	0,20	0,29	—	—	—	—	—
6. Prebacivanje tereta rotiranjem		Teret koji treba prebacivati (kp)							
Visina na kojoj se teret nalazi	Način rada	do 5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40
do 40 cm	malo	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43
	veliko	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,42	0,45
41— 80 cm	malo	0,21	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,38
	veliko	0,22	0,25	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,43
81—120 cm	malo	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,26	0,29	0,39
	veliko	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,39
121—160 cm	malo	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31	0,36
	veliko	0,18	0,21	0,23	0,26	0,30	0,34	0,39	—
161—180 cm	malo	0,17	0,19	0,22	0,24	0,28	0,23	0,39	—
	veliko	0,20	0,23	0,25	0,28	0,32	0,37	—	—

Tablica 3.

KOEFICIJENTI DODATNOG VREMENA																				List 3/4
Određivanje efektivne temperature okoline (°C)																				t_e
t°C na suhom termometru	Relativna vlažnost zraka u radnoj prostoriji u (%)																			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
20 21 22	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — 18	— — 18,5	— — 18,5	— — 19	— 18 19	— 18 19	— 18 19	— 18,5 19,5	— 18,5 19,5	18 19 20
23 24 25	— — 18	— — 18,5	— — 18,5	— 18 19	18 18,5 19	18 18,5 19	18 19 20	18 19 20	18,5 19,5 20	18,5 19,5 20,5	19 20 21	19,5 20 21	19,5 20,5 21	19,5 20,5 21,5	20 21 21,5	20 21 22	20 21,5 22,5	20,5 21,5 22,5	20,5 21,5 22,5	21 22 23
26 27 28	18,5 19 19,5	19 20 20,5	19 20 20,5	19,5 20 21	19,5 20,5 21,5	20 21 21,5	20,5 21,5 22	21 22 22,5	21 22 22,5	21,5 22,5 23	21,5 22,5 23	22 23 23,5	22 23 24	22,5 23,5 24,5	22,5 23,5 24,5	23 24 25	23,5 24,5 25	23,5 24,5 25,5	24 25 26	24 25 26
29 30 31	20 20,5 21	21 21,5 22	21,5 22 22,5	21,5 22 23	22 22,5 23	22 23 23	22,5 23,5 24	23 24 24,5	23,5 24 25	24 24,5 25,5	24 25 26	24,5 25,5 26	25 25,5 26,5	25 26 26,5	25,5 26 27	26 26,5 27,5	26 27 28	26,5 27 28	26,5 27,5 28,5	27 28 29
32 33 34	21,5 22 22,5	22,5 23 23,5	23 23,5 24,5	23,5 24 25	24 24,5 25	24,5 25 25,5	24,5 25,5 26	25 26 26,5	25,5 26 27	26 26,5 27,5	26,5 27 28	26,5 27,5 28	27 28 28,5	27,5 28,5 29	28 29 29,5	28,5 29 30	28,5 29,5 30,5	29 30 31	29,5 31 32	30 31,5 33
35 36 37	23,5 24 24,5	24,5 25 25,5	25 25,5 26	25,5 26 26,5	25,5 26,5 27	26 26,5 27,5	26,5 27,5 28	27 28 28,5	27,5 28,5 29	28 29 29,5	28,5 29,5 30	29 30 30,5	29,5 30,5 31,5	30 31,5 32	30,5 32 32,5	31 32,5 33	31,5 33 33,5	32,5 33,5 34	33 34 35	34 35 36
38 39 40	25 25,5 26,5	26 26,5 27	26,5 27 27,5	27 27,5 28	27,5 28 28,5	28 28,5 29	28,5 29 29,5	29 29,5 30	29,5 30 31	30 31 31,5	30,5 31,5 32	31,5 32 32,5	32 32,5 33	32,5 33 33,5	33 33,5 34	33,5 34 35	34 35 36	35 36 37	36 37 38	37 38 —

Tablica 4.

	KOEFICIJENTI DODATNOG VREMENA			List 4/4
	Koeficijent djelovanja okoline			K_a
Opis utjecajnosti na okolinu				
Zaprašenost	Zadimljenost	Zagađenost neugodnim mirisima	Zasićenost raspršinama i parama	EFEKTIVNA TEMPERATURA t_e °C	KOEFICIJENT
Normalna				18 18,5 19	1,00 1,05 1,10
				19,5 20 20,5	1,15 1,20 1,25
				21 21,5 22	1,3 1,35 1,4
Uočljiva	Mala	Neznatna		22,5 23 23,5	1,45 1,5 1,55
Dobro uočljiva	Uočljiva	Mala	Jedva uočljiva	24 24,5 25	1,65 1,75 1,85
Znatna	Dobro uočljiva	Uočljiva	Neznatna	25,5 25 26,5	1,95 2,05 2,10
Velika	Znatna	Dobro uočljiva	Mala	27 27,5 28	2,15 2,25 2,35
Vrlo velika	Velika	Znatna	Uočljiva	28,5 29 29,5	2,45 2,55 2,70
	Vrlo velika	Velika	Dobro uočljiva	30 30,5 31	2,85 3,00 3,15
Gotovo nepodnošljiva	Gotovo nepodnošljiva	Vrlo velika	Znatna	31,5 32 32,5	3,3 3,5 3,7
		Gotovo nepodnošljiva	Velika	33 33,5 34	3,9 4,15 4,4
Nepodnošljiva	Nepodnošljiva	Nepodnošljiva	Vrlo velika	34,5 35 35,5	4,65 5,0 5,4

S tim elementima vremena, dakle pripremno-završnim, tehnološkim, pomoćnim i dodatnim, dobivamo vrijeme za izvršenje zadanog posla koje nazivamo

vrijeme za nalog, a izračunavamo ga

$$T_n = T_{pz} + z_n \cdot t_1$$

gdje je: z_n — broj jedinica na nalogu
t_1 — vrijeme za jedinicu (norma)

Kako se računa t_1, vidi u točki 1.5.

43.23 PROCJENA ZALAGANJA

Aktivnost snimača kojom on ocjenjuje zalaganje radnika kojeg snima i uspoređuje ga s pojmom normalnog zalaganja nazivamo procjenom zalaganja. Ta se procjena provodi postotkom zaokruženim na 5 ili 10, u granicama 70 do 130%, u kojima se nalazi većina prosječnih zalaganja ljudi. Rad sa zalaganjem ispod 70% ne procjenjuje se zbog nesigurnosti.

Temelj procjene je brzina pokreta, preciznost izvođenja i poštivanje metode rada.

Normalno zalaganje definirano je na temelju mjerenja vremena nekih aktivnosti na velikom broju ljudi reda veličine tisuće i više. Evo tih aktivnosti za normalno zalaganje:

1 — hodanje po ravnom, neopterećen, korakom 75 cm, brzinom od 5 km/h

2 — podijeliti 52 karte na četiri kupa u kvadratno polje stranice 30 cm u pola minute.

Procjenu zalaganja treba uvježbati, na primjer navedenim aktivnostima i putem filmova koji prikazuju normalizirane radove. Pri tom se moramo držati ovih načela:

— ne valja davati procjenu po vremenu jer je to nepravilno prema radniku
— ne smijemo se dati zavesti prividnim zalaganjem
— izvođenje rada treba promatrati za cijelo vrijeme u toku zahvata radi točnosti procjene; zbog toga treba podatke što brže upisati u snimak.

43.24 SNIMANJE KRONOMETROM

43.241 Oprema. Glavna je oprema: kronometar, snimačka daska, metar. Pomoćna oprema je termometar, higrometar, mjerač sile (pri djelovanju na poluge).

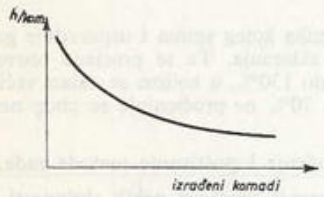
U studiju vremena prihvaćeni su kromometri podjele na 1/100 minute ili na 1/10 000 sati. Za protočno očitavanje dovoljan je kronometar obične konstrukcije navedene podjele, a za povratnu metodu kronometar je izrađen tako da se vraća na nulu, što nazivamo aktiviranjem. (Vidi i točku 43.25).

43.242 Priprema za snimanje kronometrom

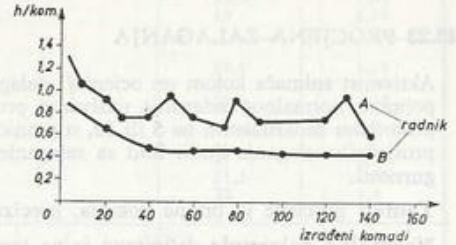
Pristup

— Stabilizacija radnog mjesta. Razumijeva se takvo uređenje u pogledu materijala, opreme i razmještaja dijelova i alata koje se stalno održava i koje u danoj tehnološkoj i organizacijskoj sređenosti omogućava postizavanje najkraćih vremena. Osobito valja paziti: na ispravnost uređaja i alata za rad, na razmještaj na radnom mjestu prema redoslijedu zahvata, da se isključe suvišni pokreti ili nepotrebna dotjerivanja, da se dijelovi kazaljke, obično krunom, odlažu neposredno na tlo. Valja misliti na smanjenje zamora i sigurnosti u radu.

– Uvježbanost radnika. Vrijeme izrade opada s uvježbanošću radnika. Za određene tipske poslove treba snimati krivulje uvježbavanja ①. Može se snimati na radniku koji se uvježbava, a uz dobru evidenciju učinka i pomoću izvršenja normi ②. Razlikujemo stalnu uvježbanost, koju radnik stječe u toku rada na određenoj vrsti posla, od uvježbanosti u toku serije. Prva ovisi o intenzitetu ponavljanja rada, tj. o tome da li se rad izvršava danomice ili u serijama koje se pojavljuju tjedno ili mjesečno. Druga pokazuje skraćenje vremena u toku serije. Pokazalo se da se srednje vrijeme serije smanjuje za 20% pri svakom udvostručenju broja komada u seriji. Srednju uvježbanost na temelju snimljenih podataka može odrediti radna jedinica. Uvježbavanje može trajati od nekoliko dana do tri mjeseca.



① Krivulja uvježbavanja



② Krivulja uvježbavanja snimljena izvršenjem norme

Prije utvrđivanja takvih krivulja, što osim snimanja zahtijeva i dobru stabilizaciju rada, može nam poslužiti vrijeme koje je radnik proveo na određenoj vrsti posla.

– U dogovoru s poslovođom treba po mogućnosti izabrati prosječnog radnika. To je psihološki razlog jer to zbog procjene zalaganja teoretski nije uvjet. Razlog je u tome da ljudi u kolektivu bar u početku snimanja ne budu pod dojmom da se za određivanje normi izabiru brzi radnici. Kasnije, pošto oni upoznaju način snimanja i procjenu zalaganja, taj dojam može (ali ne mora) nestati.

– Upoznati poslovođu sa svrhom snimanja i razviti suradnju u smislu aktivnog učešća poslovođe u početku snimanja, pri izboru radnih mjesta za snimanje i u vezi sa stabilizacijom i uvježbanošću radnika.

Pripreme na radnom mjestu

– Upoznavanje radnika sa svrhom i načinom snimanja također ulazi u domenu razvijanja suradnje. Osobito ga treba upoznati s procjenom zalaganja. Zatim ga valja pitati za smetnje i poteškoće u radu koji obavlja. Na taj način možemo saznati uzroke i ukloniti ih.

– Unijeti podatke u snimački list. To je potrebno učiniti ovim redom: 1 — unosimo tehnološko-organizacijske podatke, kao: predmet, operaciju, radno mjesto — ručno ili strojno, alate i naprave, režime rada, uvjete rada, zatim početak i svršetak snimanja, radionicu, ime poslovođe i radnika ... 2 — skicu radnog mjesta s razmještajem predmeta i alata i skicu predmeta.

– Promatrati rad i podijeliti ga na zahvate. Zahvate valja odabrati tako da se mogu snimiti po trajanju i da budu određene logičke cjeline koje se uvijek pojavljuju pa se od njih mogu sastavljati vremena za operacije. Operacija je onaj dio obrade koji se obavlja na jednom radnom mjestu (rezanje, tokarenje, sastavljanje, prešanje ploča) od uzimanja predmeta do odlaganja. Tako definiranu operaciju dijelimo na zahvate kako smo ih opisali.

– Pokusni snimak i potreban broj očitavanja izvođenja operacije. Snimanje vremena zapravo je uzimanje uzoraka, a oni treba da su dovoljno veliki. Pitanje se svodi na ovo: koliko puta treba neki rad snimiti da nam dobiveno srednje vrijeme snimka ima željenu točnost s određenom pouzdanošću? U studiju vremena zadovoljava nas točnost od 5% uz pouzdanost od 95%.

Za male pokusne snimke sa $n_p = 5$ ili 10 očitavanja služimo se koeficijentom stabilizacije:

$$K_s = \frac{t_{max} - t_{min}}{t_o}$$

i na temelju tablice 43.242—5. očitamo potreban broj očitanja n.

Primjer: $t_{max} = 18$ dmh, $t_{min} = 13$ dmh, $t_o = 15.6$ dmh

$$n_p = 10 \quad (1 \text{ dmh} = 0{,}000\,1 \text{ h})$$

$$K_s = \frac{18 - 13}{15{,}6} = 0{,}32$$

Tablica 5.

Tablica potrebnog broja snimanja n uz 5 %-tnu preciznost i 95 %-tnu pouzdanost

$K_s = \frac{t_{max} - t_{min}}{t_o}$	Pokusno snimanje		$K_s = \frac{t_{max} - t_{min}}{t_o}$	Pokusno snimanje	
	$n_p=5$	$n_p=10$		$n_p=5$	$n_p=10$
0,10	3	2	0,56	93	53
0,12	4	2	0,58	100	57
0,14	6	3			
0,16	8	4	0,60	107	61
0,18	10	5	0,62	114	65
			0,64	121	69
0,20	12	7	0,66	129	74
0,22	14	8	0,68	137	78
0,24	17	10			
0,26	20	11	0,70	145	83
0,28	23	13	0,72	153	88
			0,74	162	93
0,30	27	15	0,76	171	98
0,32	30	17	0,78	180	103
0,34	34	20			
0,36	38	22	0,80	190	108
0,38	43	24	0,82	200	114
			0,84	210	120
0,40	47	27	0,86	218	125
0,42	52	30	0,88	230	131
0,44	57	33			
0,46	63	36	0,90	240	138
0,48	68	39	0,92	250	143
			0,94	261	150
0,50	74	42	0,96	273	156
0,52	80	46	0,98	285	162
0,54	86	49	1,00	296	170

Za $K_s = 0{,}32$ očitamo u tablici 5. pod kolonom $n_p = 10$ potreban broj očitavanja $n = 17$, što znači da treba na kronometru očitati vremena za 17 izvođenja ako želimo da srednje vrijeme ima točnost 5% s pouzdanošću 95%. U slučaju pokusnog snimka s većim brojem pokusnih očitavanja, i to za $n_p = 15$, 20, 25, 30 ili više od 30, potreban broj očitavanja dobivamo pomoću formule:

$$n = c \cdot \frac{\sigma^2}{t_o^2}$$

gdje parametar c ovisi o pokusnom broju očitavanja, i to:

n_p	15	20	25	30	>30
c	1 840	1 750	1 700	1 680	1 600

Primjer: $n_p = 15$, $\sigma = 3{,}2$; $t_o = 35$

$$n = 1\,840 \cdot \frac{3{,}2^2}{35^2} \doteq 16$$

Budući da je omjer σ/t_o karakterističan za pojedine vrste radova, potreban broj očitavanja ustanovljuje se početnim snimanjem, a dalje se samo provjerava na provedenom snimku. Za brže određivanje potrebnog broja očitavanja mogu poslužiti i nomogrami kao u tablici 43.242–6. za $n_p > 30$.

43.25 SNIMANJE S PROCJENOM ZALAGANJA

Ta metoda sastoji se u snimanju vremena kronometrom, pri čemu analitičar u toku izvođenja obavlja i procjenu zalaganja (tačka 43.23). Na kraju zahvata upisuje procjenu i očitava vrijeme na kronometru. Taj način je najtačniji u pogledu procjene zalaganja jer je dajemo isto toliko puta koliko i očitavamo vremena pa se sitna odstupanja u procjeni međusobno isključuju po zakonu velikih brojeva. Drugi, jednostavniji, ali manje točan način jest taj da se na kraju snimanja dade procjena zalaganja za cijeli tok izvođenja u vrijeme snimanja. Prvi način provodimo pri povratnoj metodi snimanja, kako ćemo vidjeti iz opisa. Takva višekratna procjena može se izvršiti i protočnom metodom, iako nešto teže, jer se očitava kazaljka u pokretu pa se uz tu metodu obično primjenjuje jednokratna procjena zalaganja.

43.251 Metode snimanja i način izračunavanja

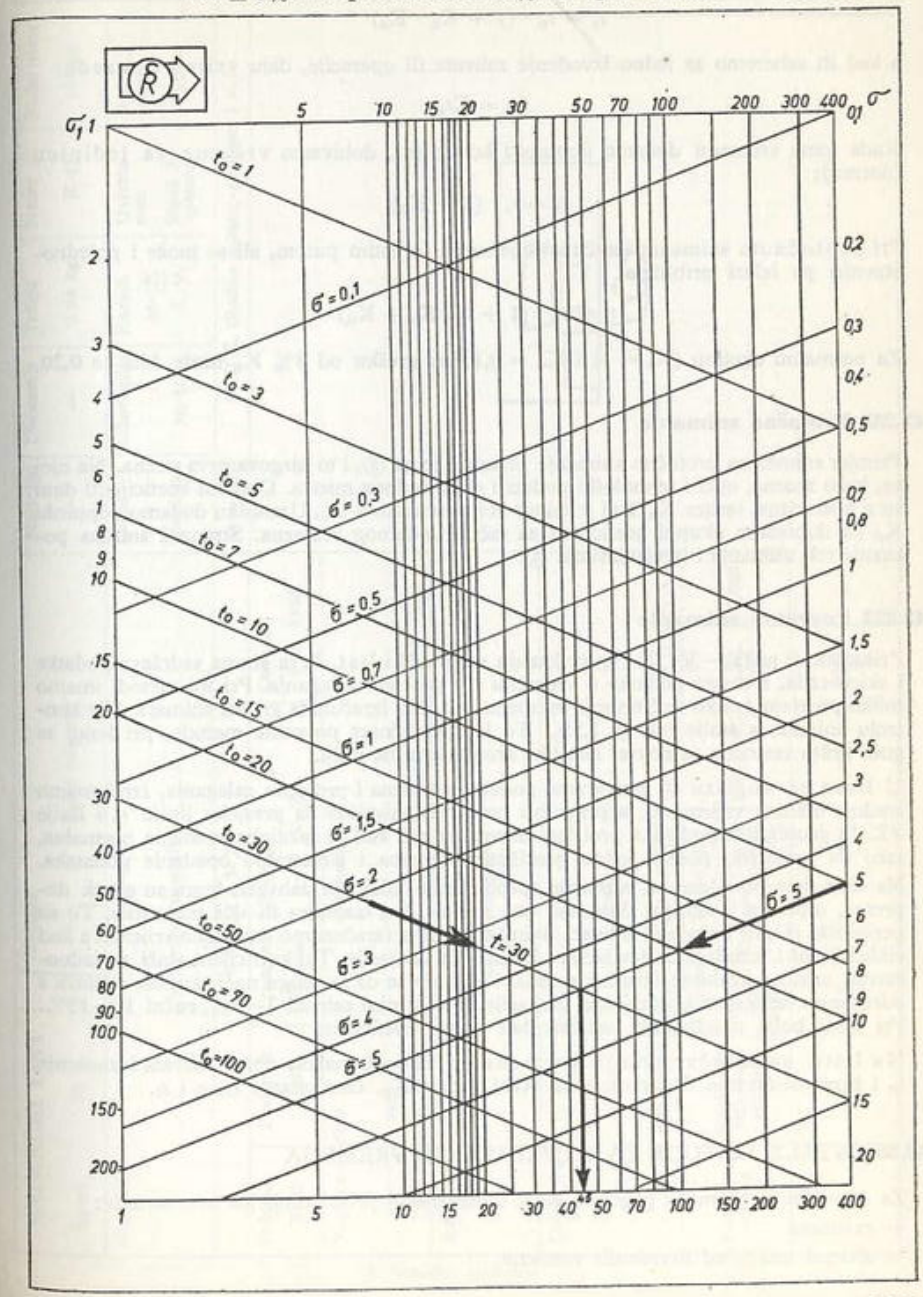
Kronometar možemo očitavati na dva načina pa odatle i nazivi metoda: protočno i povratno. Protočni način sastoji se u tome da se kronometar pokrene na početku snimanja, a u toku snimanja očitava se kazaljka u pokretu, pa se na kraju snimanja zaustavlja kronometar. Glavne su prednosti toga: kronometar može biti obične konstrukcije, laka je izobrazba snimača. Mane su pak: dugo izračunavanje jediničnih vremena, teže je snimanje kraćih zahvata i procjena zalaganja u svakom zahvatu.

Povratno snimanje je očitavanje kronometra uz istodobno vraćanje kazaljke na nulu. Glavna je prednost toga dobivanje jediničnih vremena, snimanje kratkih zahvata, snimanje s procjenom svakog zahvata. Nedostatak mu je što je potreban kronometar posebne izvedbe, duže uvježbavanje snimača i kontrolni sat da se izračuna greška snimača, koja ne smije prijeći ± 1,5% (1). Za snimanje i statističku obradu podataka snimka bolja je povratna metoda.

Normu pri povratnom snimanju dobivamo tako da izračunavamo normalno vrijeme:

$$t_n = t_o \cdot K_{pz}$$

Nomogram potrebnog broja snimanja za $n_p > 30$ uz ± 5%-tnu preciznost i 95%-tnu pouzdanost Tablica 6.



To vrijeme povećavamo dodatnim koeficijentima pa dobivamo stvarno vrijeme:

$$t_s = t_n \cdot (1 + K_n \cdot K_a)$$

a kad ih saberemo za jedno izvođenje zahvata ili operacije, daju vrijeme izrade:

$$t_i = \Sigma t_s$$

Kada tome vremenu dodamo dopunski koeficijent, dobivamo vrijeme za jedinicu (normu):

$$t_1 = t_i \cdot (1 + K_d)$$

Pri protočnom snimanju izračunavanje može ići istim putem, ali se može i pojednostavniti pa izlazi približno:

$$t_1 \approx t_n \cdot (1 + K_n K_a + K_d)$$

Za normalnu okolinu ($K_a = 1$) i $K_d = 0{,}15$ uz grešku od 3% K_n može biti do 0,20.

43.252 Protočno snimanje

Primjer snimka za protočno snimanje prikazan je na ③, i to njegova prva strana. Na njoj su, kako znamo, opći i tehnološki podaci i skica radnog mjesta. Dodatni koeficijenti dani su u postocima, izuzev K_a, koji je faktor kojim množimo K_n. Umnošku dodamo dopunski K_d pa dobivamo ukupni koeficijent za račun dodatnog vremena. Strana 2 snimka pokazuje tok snimanja i izračunavanja ④.

43.253 Povratno snimanje

Prikazano je na ⑤—⑧. ⑤ i ⑥ prikazuju snimački list. Prva strana sadržava podatke i skicu rada, a druga podatke o vremenu i o procjeni zalaganja. Pri toj metodi imamo toliko procjena koliko i očitavanja vremena. Na dnu izračunata greška snimača daje kontrolu snimka, a smije biti ± 1,5%. To je specifičnost povratne metode, pri kojoj se gubi nešto vremena za povrat kazaljke kronometra na nulu.

U listu za analizu ⑦ grupiramo podatke vremena i procjene zalaganja, izračunamo srednje očitano vrijeme t_o, a pripadnu procjenu nalazimo na presjeku linije t_o i linije PZ. Iz grupiranih podataka proizlazi normalan rad kad je razdioba vremena normalna, tako da praktično postoji jedno gomilanje vremena i simetrično opadanje podataka. Na dnu lista obrađene su varijacije (produženja) cikličkih zahvata, čemu su uzrok doprema, otprema i slučajni događaji, kao »teško ide«, »zapinje« ili »loš materijal«. To su periodički (D, E) i slučajni zahvati. Svim zahvatima izračunamo normalno vrijeme, a kod cikličkih još i standardnu devijaciju i koeficijent varijacije. Taj koeficijent služi za jednostavnu analizu kvalitete izvođenja rada. Pokazuje se da se mogu naći skupine poslova s određenim rasponom koeficijenta, varijacije, npr. strojni zahvati 3—5%, ručni 10—15%. Pri tome bolja uvježbanost radnika daje manji koeficijent.

Na listu za izračunavanje vremena izrade ⑧ nakon opisa zahvata i unošenja t_n i broja očitavanja Z odredimo za svaki zahvat K_n. Izračunamo t_s, t_i i t_1.

43.26 OSTALE METODE ZA UTVRĐIVANJE VREMENA

Za određivanje vremena pogodne su u industrijskoj proizvodnji još ove metode:

- računska
- sistemi unaprijed utvrđenih vremena.

SNIMAČKI LIST broj 12

Predmet: Permi osigurač

Materijal: —

Dimenzije: —

Težina: 0,04 kg

Nacrt: K-25

Radni nalog: 101-66

Operacija: Sastav osigurača

Odjel: montaža

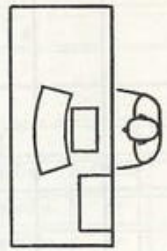
Rukovodilac: N. U.

Radnik: M-2 S. V.

Uvježbanost: iznad 3 mjeseca

Radno mjesto: M 14

M = 1:20 SKICE, (Radno mjesto, predmet i sl.)



SNIMANJE

Početak	Završetak	Trajanje	Snimao	Datum
9,40	10,07	27 min	V. Z.	6. 6. 1966.

Naprave — Alati: NS - 17

Mjerila: —

Režim rada: ručno izvođenje, položaj sjedeći

Uvjeti rada: normalni

DODATNI KOEFICIJENTI — NORMA

Koeficijent zamora	Koeficijent djelovanja okoline	Dopunski koeficijent			UKUPNO	$\frac{h}{kom.}$
		Propisani odmor	Osobne potrebe	Organizacijski gubici		
11	1	6,5	3,5	4	25	0,005

$\frac{kom.}{h}$ 200

③ Protočno snimanje

Redni broj	ZAHVATI	Oznaka vremena	Redni broj snimanja izvođenja 1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	Broj snimaka	Vremena t_{max}	t_{min}	t_i	o_i	Proširena zalaganja	Normalno vrijeme $t_n = t_o \cdot K_{pZ}$
1	Stavlja u napravu dijelove A, B, C, D	J	20	19	20	21	20	22	18	19	21	19	20	18	22	20	21	17	19	21	17	20	20	22	17	394	19,7	108	21,3
		P	20	55	90	28	65	205	40	99	38	72	409	44	82	519	58	94	30	67	701	39							
2	Steže napravom, učvršćuje, odlaže	J	16	15	17	17	18	17	19	18	15	17	17	16	17	18	19	17	16	17	18	17	20	19	15	341	17,0	110	18,7
		P	36	70	107	45	83	22	59	317	53	89	26	60	99	37	77	611	46	84	19	756							
		J																											
		P																											
		J																											
		P																											
		J																											
		P																											
		J																											
		P																											
		J																											
		P																											
		J																											
		P																											
		J																											
		P																											
		J																											
		P																											
		J																											
		P																											
		J																											
		P																											
Prekid	Od	259	Razlog 1/8 uređuje odjeću (21)																				Razlog						
	Do	280					Od		Do									Od		Do								

Dodatno vrijeme 10,0

Norma t_i 50,0

Σ t_n 40,0

④ Tok snimanja i izračunavanje

Snimački list

Broj 8-17

				Radnik	Uvježbanost
				1. M. M.	iznad 3 mjeseca
Snimio	I. K.	Nacrt	20-115	2.	
Dne	8. 5. 19/66.	Nalog	58-66	3.	
Početak	7,05	Količina	5 000	4.	
Svršetak	7,37	Radionica	montaža	5.	
Trajanje	32 min	Poslovođa	P. K.	6.	
Tc (dmh)	5 333	Brigadir	A. C.	7.	

Predmet	Kontaktni slog
Operacija	Stezanje
Radno mjesto	M 17
Alat	naprava NS 20
Mjerila	—
Režimi rada	ručno, sjedeći

	Materijal	Oblik	Dimenzije	Težina
u operaciju	—	—	—	—
iz operacije	—	—	—	0,06 kg

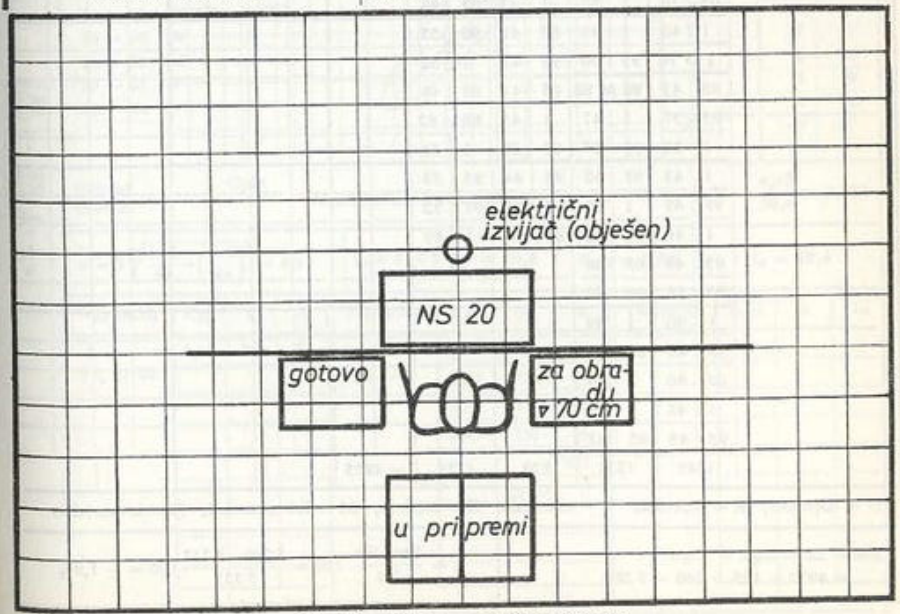
Stanje zraka			
temperatura	—	°C	$K_a = 1$
rel. vlaga	—	%	$K_d = 0{,}14$
elekt. temp.	—	°C	
čestice	—		
gustoća	—		

Uvjeti rada

normalni

doprema 60 kom. velikim okretanjem s visine 40—70 cm

Skica radnog mjesta — Mjerilo 1 cm = 20 cm



⑤ Snimački list — podaci i skica rada

tgk		Ispušta slog		Ispušta izvijač													
50																	
75																	
225		Odlaže i ulaže slog		Steže, uvija 2 vijka izvijačem													
		1		2		1		2									
		PZ	t	PZ	t	PZ	t	PZ	t	PZ	t	PZ	t	PZ	t	PZ	t	PZ	t
		1	40	05 V 38		1	43	**95 M 80**											
		05	35	1	40	05	38	90	56										
		1	37	95	47	1	42	95	55										
		1	40	1	42	95	44	1	49				grupiranje:						
		1	42	05	43	05	37	95	52										
tgn		05	40	95	53	1	38	90	50				1. zahvat			maks. 47			
90		05	38	95	52	05	35	**95 M 78**								min. 32			
110		1	41	1	48	10	34	05	49							R = 15			
200		05	36	1	49	05	36	85	58							m = 16			
		1	40	90	54	90	46	1	50										
		95	45	**1 M 70**		05	40	80	60				2. zahvat			maks. 62			
		95	43	1	48	1	38	1	50							min. 38			
		05	37	95	52	10 V 32		95	53							R = 24			
		1	42	1	50	1	35	1	52							m = 25			
		05	36	1	52	1	43	05	48										
		1	40	1	48	05	41	90	55										
		1 D 70		95	50	95	45	1	52										
		95	43	**95 M 85**		05	41	05	48										
		05	37	1	47	1	43	80 ∧ 62											
		1	38	90	57	05	37	1	48										
		1	43	95	55	95	44	95	53										
		95	45	1	50	1	41	95	52										
		1	46	90	52	85 ∧ 47		1	49										
		05	43	05	48														
		05	38	90	52														
		1	40	1	49														
		95	42	85	56														
		05	40	1	48														
		1	43	1	51														
		95	45	05	45														
		1245		1531		920		1259		= 4955									

D = doprema, E = otprema, T = teško ide, Z = zapinje, M = loš materijal, X = izvanredno

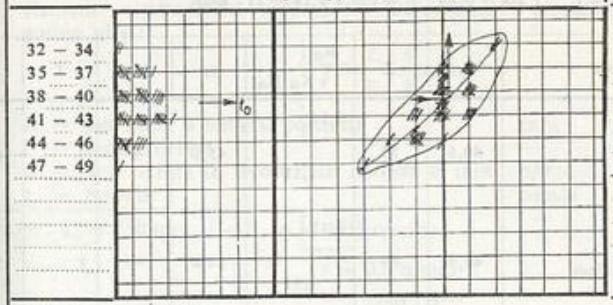
$$\Sigma tc = \Sigma t + \Sigma tgk + \Sigma tgn = 4955 + 125 + 200 = 5\,280$$

$$\varepsilon = \frac{\Sigma tc - Tc}{Tc}\,100 = \frac{5\,280 - 5\,333}{5\,333}\,100 = -1{,}0\%$$

⑥ Snimački list – podaci o vremenu i procjeni zalaganja

	List za analizu vremena	Obradio	Datum		Broj
		I. K.	8. 5. 1966.		8–2+

t — Raspodjela — PZ

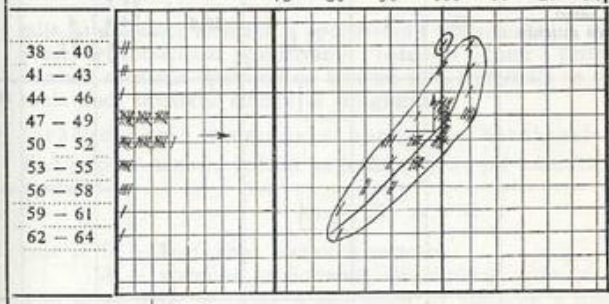


f	d	fd	fd²
2	−3	−6	18
11	−2	−22	44
14	−1	−14	14
16	ø	−42 ø	ø
8	1	8	8
1	2	2	4
52		−32	88

Zahvat broj 1 | Opis: Odlaže i ulaže slog | $V = \frac{3{,}43}{40{,}2} = 0{,}085$

$\sigma = 3\sqrt{\frac{88}{52} - \left(\frac{32}{52}\right)^2} = 3{,}43$ | $t_o = 42 + 3\,\frac{-32}{52} = 40{,}2$ | $K_{pZ} = 1{,}01$ | $t_n = 40{,}6$

t — Raspodjela — PZ



f	d	fd	fd²
2	−4	−8	32
2	−3	−6	18
1	−2	−2	4
15	−1	−15	15
16	ø	−31 ø	ø
7	1	7	7
4	2	8	16
1	3	3	9
1	4	4	16
49		−9	117

Zahvat broj 2 | Opis: Steže, uvija 2 vijka izvijačem. | $V = \frac{4{,}63}{50{,}4} = 0{,}092$

$\sigma = 3\sqrt{\frac{117}{49} - \left(\frac{-9}{49}\right)^2} = 4{,}63$ | $t_o = 51 + 3\,\frac{-9}{49} = 50{,}4$ | $K_{pZ} = 0{,}98$ | $t_n = 49{,}4$

Varijacija	K_{pZ}	t_o	t_n	Varijacija	K_{pZ}	t_o	t_n	Varijacija	K_{pZ}	t_o	t_n
3. V1, D 60	1,00	70	70	4. V2, M	1	70	70				
					0,95	85	81				
					0,95	80	76				
					0,95	78	74				
							301				
						301:4					
		$t_n = 70$				$t_n = 75$				$t_n =$	

$$t_n = t_o \cdot K_{pZ} \qquad K_{pZ} = \frac{PZ}{100} \qquad t_o = t + i\,\frac{\Sigma fd}{\Sigma f} \qquad \sigma = i\sqrt{\frac{\Sigma fd^2}{\Sigma f} - \left(\frac{\Sigma fd}{\Sigma f}\right)^2}$$

⑦ Analiza vremena

	List za izračunavanje vremena izrade							Broj 8—3
Izradio I. K.	Dne 8.5.66.	$K_a = 1$	$K_d = 0{,}14$	$t_i = 102{,}3 \cdot 1{,}14 \doteq 117$ dmh				

Br.	Opis zahvata	t_n	Z	$\frac{K_n}{1+K_n K_a}$	t_s	Δt_s	f	t_i
1	Odlaže i ulaže slog	40,6	52	0,11 / 1,11	45,0	—	1	45,0
2	Steže, uvija 2 vijka izvijačem	49,4	49	0,11 / 1,11	54,4	—	1	54,4
3	V1, D 60 (isto kao zahvat 1, samo još doprema 60 komada)	70	1	0,22 / 1,22	85,4	85,4 − 45,0 = 40,4	1 53 / 60 49	0,7
4	V2, M, mijenja dio (isto kao zahvat 2, samo zbog lošeg materijala mijenja dio)	75	4	0,11 / 1,11	83,2	83,2 − 54,4 = 28,8	4 / 53	2,2
								102,3

⑧ Izračunavanje vremena izrade

43.261 Računska metoda

Računanje vremena po formulama pokazat ćemo u tri oblika prema opsegu i primjeni.

1 — Izračunavanje strojnog vremena t_t.

Taj način se najmanje primjenjuje jer se, kako znamo, odnosi na jedan vremenski element — tehnološko vrijeme. Glavna jednadžba za strojeve sa skidanjem strugotine glasi:

$$t = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} \text{ min}$$

L — put alata u smjeru posmika — mm
i — broj prijelaza — —
n — broj okreta ili dvostrukih hodova u min — o/min
s — posmik — mm/o

Primjer: L = 250 mm, i = 1, n = 1,35 o/min,

$$s = 0{,}8 \text{ mm/o}$$

$$\text{Proizlazi: } t = \frac{250 \cdot 1}{1{,}35 \cdot 0{,}8} = 231 \text{ min.}$$

2 — Izračunavanje vremenske norme za strojne radove (prema Zaharovu, naše oznake elemenata);

$$t_1 = (t_t + t_p)(100 + a_{teh} + a_{org} + a_{otd}) \frac{1}{100}$$

gdje su **a** postoci vremena u operativnom vremenu $(t_t + t_p)$ za: **teh**ničko posluživanje, **org**anizacijsko posluživanje i (**otd**) za odmor i prirodne potrebe. To je računanje vremena operacije na temelju svih elemenata te u većem opsegu normiranja vodi upotrebi tablica ili dijagrama.

3 — Izračunavanje vremenske norme po karakterističnoj veličini

Kao primjer dano je vrijeme za jedan prijelaz pri tokarskim radovima (prema Zaharovu):

$$t_{ore} = K \cdot A + C$$

gdje je K — koeficijent proporcionalnosti
A — površina projiciranog cilindričnog tijela $(d \times l)$.

Tim se načinom proračun normi svodi od ovisnosti o dva faktora na ovisnost o jednom pa se znatno skraćuje vrijeme potrebno za izračunavanje normi.

43.262 Sistemi unaprijed utvrđenih vremena

Osnova tih sistema jest ideja da se sav ljudski rad raščlanjuje na iste osnovne pokrete i jednom zauvijek odredi vrijeme za te osnovne pokrete (terblig, mikropokret). Određivanje vremena za operacije sastoji se u tome da se ona raščlani u osnovne pokrete, očita za njih vrijeme iz tablica i toj sumi doda dodatno vrijeme. Tablice sadržavaju normalna vremena za mikropokrete.

Od poznatih sistema najčešći su ovi:

— MTM — Methods Time Measurement. Ima devet osnovnih pokreta, dvije funkcije oka i pokrete nogu i tijela. Jedinica je 1 TMU = 0,000 01 h. Vrijeme je ovisno o dužini pokreta, o slučaju kako se rad obavlja, o ubrzavanju i o usporavanju.

— WF — Work Factor-System, koji sadržava četiri sistema: osnovni, pojednostavnjeni, skraćeni i postupak — MIMS. Karakteristike su mu: dio tijela u radu, težina i način izvršenja pokreta. Jedinica osnovnog sistema je 0,000 1 min.

Prednosti tih sistema jesu: procjena zalaganja nije potrebna, a osim određivanja vremena unaprijed za nove procese, zbog čega su bili prvenstveno razvijani, pokazali su se korisnima pri pojednostavnjenju rada, npr. pri izobrazbi konstruktora alata i naprava. Treba naglasiti da rad po tim sistemima zahtijeva posebnu i temeljitu izobrazbu, koja sadržava niz pravila, a to se iz samih tablica ne vidi.

43.27 SNIMANJE GUBITAKA U RADU

Poznate su dvije metode snimanja gubitaka:

- slika radnog dana (SRD)
- metoda trenutačnih zapažanja (MTZ).

Osim vremena rada postoje gubici vremena koje moramo priznati u normu jer ih zahtijeva odvijanje rada ili neredovite i kratke smetnje. Duže izvanredne gubitke ne priznajemo u normu, već ih bilježimo odvojeno, ali ih isto tako želimo izmjeriti.

43.271 Slika radnog dana

To je snimak cijele smjene na jednom radnom mjestu, pri čemu kronometrom ili običnim satom mjerimo trajanje aktivnosti rada ili nerada s uzrocima nerada. Da se dobiju prosječni podaci, potrebno je snimati više dana i više istih radnih mjesta. To zahtijeva mnogo vremena snimača, a psihološki nije povoljno za radnika. Zato se ta metoda može primijeniti za jedno ili za nekoliko radnih mjesta jer je za veći broj suviše dugotrajna. Danas se sve više primjenjuje metoda MTZ.

43.272 Metoda trenutačnih zapažanja (MTZ)

To je metoda statističkog promatranja pojava na temelju njihove učestalosti. Drugim riječima, vrijeme smjene sastoji se od niza trenutačnih stanja (pojava) »radi« i »ne radi«. Bilježenjem stanja na radnim mjestima trenutačnim zapažanjem dobivamo učestalost pojedinih pojava. Pri dovoljnom broju zabilježaka, broj zabilježaka promatrane pojave u odnosu prema ukupnom broju zabilježaka daje udio (postotak) vremena te pojave u vremenu mjerenja. Na primjer, zabilježaka je bilo 3 000, od čega je gubitaka (nerada) bilo 450. Udio nerada iznosi tada:

$$p = \frac{450}{3\,000} = 0{,}15 \text{ ili } 15\%.$$

Potreban broj zabilježaka ovisi:

- o udjelu nerada p
- o pouzdanosti rezultata
- o željenoj točnosti rezultata, a računa se:

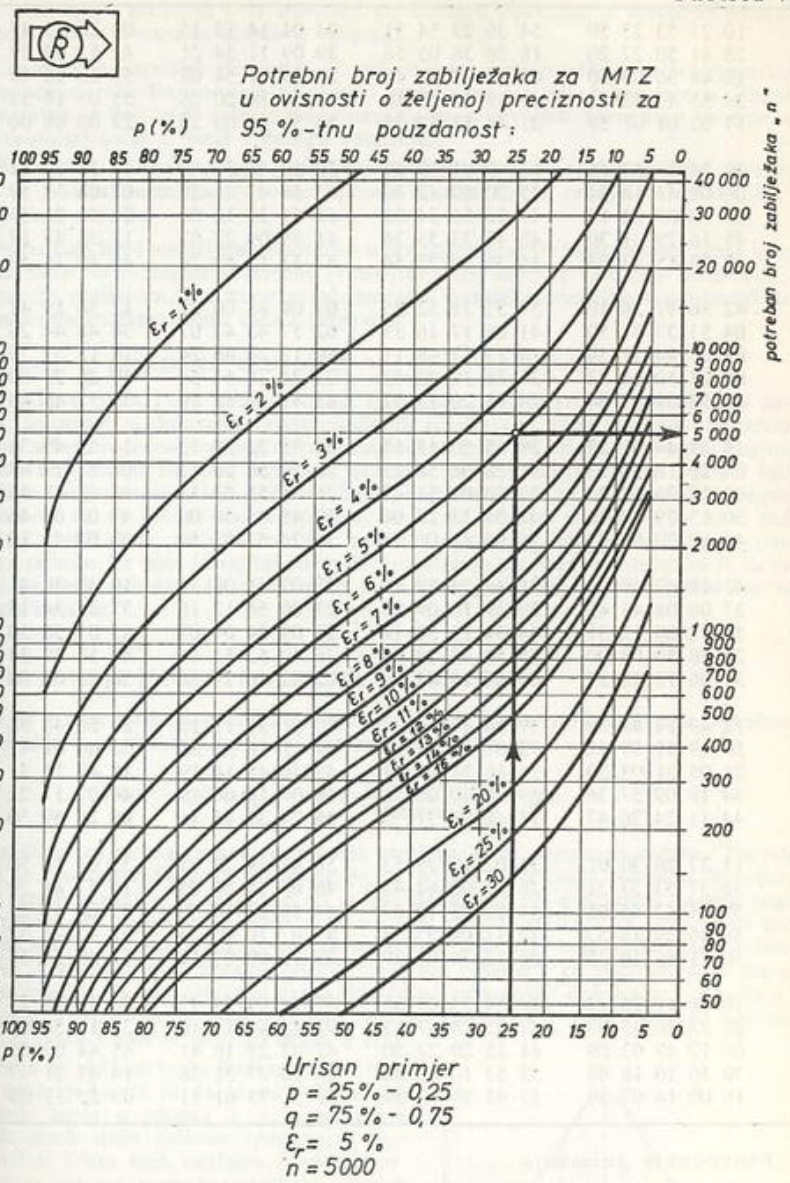
$$n = \frac{t^2}{\varepsilon_r^2} \cdot \frac{(1-p)}{p} \qquad \text{za } 95\% \text{ pouzdanosti } t = 2$$

Može se očitati i iz dijagrama (tablica 43.272–7)

Slučajni obilasci

Određuju se tablicama slučajnih brojeva (tablica ⑧) da se postigne slučajnost izbora promatranih elemenata i time osigura jednaka mogućnost pojave svakom elementu. Obično

Tablica 7.



se želi isti broj obilazaka u satu, a minute određujemo tablicom. Ona sadržava brojke minuta i svejedno je gdje se započne i kojim smjerom se očitava.

Slučajnost obilazaka i potreban broj zabilježaka dva su statistička uvjeta za ispravan rezultat MTZ.

Slučajni brojevi za minute Tablica 8.

10 27 53 23 50	54 36 23 54 31	04 04 14 13 15	09 26 25 47 47
28 41 50 27 20	18 36 36 05 56	39 09 11 34 21	42 57 02 59 19
18 48 30 03 30	05 24 07 50 46	23 23 11 54 08	53 28 58 44 07
39 55 43 42 34	43 39 28 15 18	13 54 16 20 26	55 09 14 53 51
17 52 01 01 59	21 44 13 32 31	54 32 56 08 25	29 00 08 06 37
30 28 59 53 56	53 40 01 39 59	30 19 48 36 46	18 34 20 27 16
00 08 43 18 34	25 30 50 42 40	43 56 47 46 29	02 04 37 59 71
05 02 03 24 17	47 56 51 34 01	55 51 33 12 06	34 41 21 55 09
45 16 29 01 30	48 47 23 53 34	41 45 09 23 07	12 38 43 14 11
47 23 15 43 53	14 36 59 25 54	47 33 15 59 24	48 40 35 50 03
42 36 47 28 10	59 53 11 52 25	07 04 48 06 22	12 56 59 41 28
04 53 37 31 50	41 06 17 16 33	02 57 45 43 07	34 48 44 26 29
09 06 44 31 54	14 13 17 48 11	59 12 28 46 24	16 15 53 25 51
01 28 50 16 43	36 28 58 22 52	23 24 36 54 54	59 28 29 50 02
45 52 38 47 54	24 43 20 13 47	48 45 58 51 59	38 57 45 46 44
14 55 44 01 12	39 45 50 51 13	39 35 22 30 53	36 02 49 34 16
04 29 18 51 23	51 38 08 58 25	58 20 56 20 11	08 57 13 48 48
09 17 24 17 26	37 20 01 31 47	26 05 51 53 33	18 37 48 56 29
30 15 39 14 10	48 38 13 29 06	37 48 45 56 00	47 08 02 46 30
49 17 29 02 39	56 03 46 06 17	14 23 52 01 50	01 02 43 10 19
41 18 47 49 08	21 44 25 27 41	28 07 41 08 34	19 42 38 41 53
37 06 08 43 42	29 39 10 09 24	23 00 56 12 16	37 21 34 17 23
56 32 00 15 31	44 34 15 58 14	29 09 34 04 07	55 07 58 30 29
25 58 50 08 00	25 58 43 28 06	36 49 52 51 14	47 56 29 34 05
31 06 12 45 57	09 09 10 43 29	03 42 10 21 38	56 28 03 09 47
12 49 14 44 38	39 54 37 44 22	00 01 31 17 16	29 56 48 38 49
59 19 51 39 52	13 07 28 10 37	07 11 16 36 27	03 04 41 47 10
25 05 31 03 20	26 36 21 02 44	48 46 45 14 19	11 47 11 31 56
34 19 09 57 36	59 14 40 06 54	18 09 18 06 19	40 07 17 22 45
44 11 24 20 47	31 48 08 31 55	58 24 33 45 16	08 24 59 50 24
13 27 26 30 01	31 02 10 39 53	58 47 39 28 05	35 01 16 50 13
36 37 53 37 31	26 35 03 44 43	46 05 14 50 05	13 57 44 59 24
39 44 43 46 05	14 50 05 13 57	44 59 03 10 39	31 00 57 25 17
59 46 34 18 55	12 11 08 55 53	42 07 10 05 24	21 47 21 32 27
30 21 05 10 35	36 12 30 05 39	28 10 00 27 12	12 49 57 57 17
19 16 11 26 23	20 54 23 07 36	37 34 09 59 43	36 18 48 27 45
27 23 30 43 05	47 55 24 37 55	01 48 41 19 10	35 19 54 07 09
06 12 49 03 59	41 15 20 27 50	47 02 29 16 41	45 44 07 05 38
30 56 10 18 48	59 53 10 26 36	24 59 37 31 38	14 41 21 47 40
16 00 14 07 39	55 43 56 19 34	29 51 33 01 11	03 22 17 06 54

Provođenje snimanja

— Potrebno je **odrediti cilj** snimanja, a to znači snimanjem dobiti podatke za rješenje određenog problema. Tako se može izvršiti snimanje dopunskog koeficijenta K_d, mogu se naći uzroci uskih grla, utvrditi stupanj iskorištenja strojeva prije nabave novih, odrediti postotak pojedinih aktivnosti u uredskim službama (konstrukcijski, priprema rada, prodaja i sl.).

— Sa svrhom ćemo **upoznati ljude** koji će biti obuhvaćeni snimanjem, uputiti ih da ne mijenjaju aktivnost i da suraduju pri davanju obavijesti o uzrocima gubitaka i definiranju elemenata snimanja (pojava).

— Zatim ćemo **odrediti elemente,** tj. pojave koje moramo bilježiti u času promatranja radnog mjesta. Promatranje se obavlja trenutačno i s određenog mjesta. Elemente moramo opisati radi točnog raspoznavanja te predvidjeti **formular** za snimanje. Formulari ovise o svrsi i opsegu snimanja.

Pokusnim obilaskom provjerit ćemo da li su svi elementi obuhvaćeni, a on služi i za **pouku snimača,** odnosno njihovo upoznavanje s radnim mjestima ako već poznaju metodu.

— **Potreban broj zabilježaka** određen u početku snimanja **kontrolirat** ćemo u toku snimanja. Određuje se na temelju pretpostavljenog udjela p ili udjela dobivenog pokusnim obilaskom. U toku snimanja moramo **pratiti normalnost proizvodnje** pa snimanje možemo samo tada i provoditi.

Prednosti i poteškoće kod MTZ

Kao svaka metoda, i ova ima određenih poteškoća i prednosti. Od poteškoća navest ćemo: snimanje za dobivanje reprezentativnih rezultata je dugo, metoda nije primjenljiva za snimanje jednog radnog mjesta, snimači se češće ne pridržavaju trenutnog očitavanja i ne poštuju slučajno određene obilaske, postoji mogućnost da radnici iskrive rezultate. No ta metoda ima i nesumnjivih prednosti. Među ovima mogu se navesti: mogućnost da se dobiju stvarne pojave, jer to je rezultat snimanja na više radnih mjesta i u više dana, manji je utrošak vremena snimača, pouka je jednostavna, povoljnija za radnike jer nisu izvrgnuti stalnom promatranju snimača, primjenljiva je za razne svrhe i ciljeve, snimanje je jednostavno, a može se prekinuti i opet nastaviti bez utjecaja na rezultat.

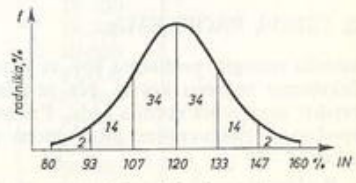
43.28 IZVRŠENJE NORMI I NJIHOVA REALNOST

Kako se norme daju za određene uvjete, a ovi se u proizvodnji mijenjaju, potrebno je pratiti njihovo izvršenje. Ono je (IN) definirano kao omjer:

$$IN = \frac{N}{E} \cdot 100 = \frac{\text{normirani sati}}{\text{efektivni sati}} \cdot 100$$

Pod efektivnim satima razumijevamo sate utrošene za te normirane radove. Taj odnos može se promatrati za pojedine operacije, za pogon ili za cijelu tvornicu. Povoljno je uzeti sate po radniku za razdoblje od mjesec dana, i to pri analiziranju normi pogona ili tvornice. Za pojedine operacije neće se moći pratiti izvršenje za cjelokupnu proizvodnju jer to nije ekonomično, već samo za one operacije koje budu posebno interesantne. Tek uključenje mehanografskih sredstava omogućit će sveobuhvatno praćenje svih operacija, ali i to zahtijeva prethodno točno tehnološko definiranje operacija i režima, kao i točno evidentiranje vremena utrošenog za rad i za veće, normom neobuhvaćene, gubitke i zastoje (koji ne ulaze u K_d).

Mjerenja na velikom broju ljudi na istom ručnom poslu pokazala su da se tako definirano izvršenje kreće u odnosu 2 : 1, tj. najsporiji radnik utroši dvije jedinice vremena, a najbrži jednu. Osim toga, razdioba izvršenja pokorava se zakonu normalne razdiobe. Prema definiciji normalnog zalaganja moramo kao prosječno dopustiti izvršenje od bar 120%. Tako je raspon izvršenja od 80 do 160% prirodan za isti posao. Na ⑨ je prikazana



⑨ Razdioba izvršenja

takva razdioba pri kojoj brojevi u pojedinim intervalima ispod krivulje znače postotak ljudi u tom intervalu. Tako određen »nivo« izvršenja normi ostavlja još 9% ljudi ispod 100% izvršenja, što je relativno previše jer bi stimulativno bilo najviše 5%. Prosjek je ovisan o stupnju uvježbanosti, o kriteriju visine normalnog nagrađivanja, a rasipanje o cjelokupnom tehnološko-organizacijskom stanju u poduzeću. To rasipanje IN za cijelo poduzeće veće je od navedenog i prelazi raspon 2 : 1. Ono je »slika kvalitete učinka«: veliko rasipanje dokazuje iskustveno normiranje ili snimanje bez procjene zalaganja, neprecizno evidentiranje utrošenih sati, nedefiniran način i sadržaj rada pojedinih operacija — nestabilizirana radna mjesta.

43.3 POJEDNOSTAVNJENJE RADA

43.31 SVRHA I POTREBA POJEDNOSTAVNJENJA

Interes je proizvođača da poveća proizvodnju, a za to postoje tri načina:

— investicije u opremu
— stimulacija tempa rada
— pojednostavnjenje rada.

Investicije su opravdane pri cjelokupnoj reorganizaciji tehnološkog procesa ili njegova dijela.

Stimulacija povećanja tempa rada može ići samo do normalnog zalaganja jer inače nastupa šteta po zdravlje.

Pojednostavnjenje rada omogućava povećanje proizvodnje bez velikih investicija u opremu, odnosno s najnužnijim ulaganjem u naprave i sredstva rada koja olakšavaju rad.

Svrha pojednostavnjenja nije odrediti proizvodnju, nego postići koristi za poduzeće. Ono mora biti sistematsko, sveobuhvatno i trajno.

43.32 FAZE RADA U PROVOĐENJU POJEDNOSTAVNJENJA

Pri pojednostavnjenju rada potrebno je izvršiti određene faze rada od kojih ne smijemo ništa preskočiti ako želimo da nam ono postigne svrhu. Faze su ove:

— izabrati problem za poboljšanje
— izvesti predračun koristi
— snimiti postojeći način rada, prikupiti sve činjenice o problemu
— analizirati snimljene podatke
— razraditi poboljšanje
— provesti poboljšanje
— izračunati postignutu korist
— pratiti rezultate i održavati provođenje.

43.33 IZBOR PROBLEMA

Između mnogih problema koji se u proizvodnji pojavljuju treba izabrati onaj od kojega očekujemo najveću korist. Na probleme mogu upozoriti pojedine službe ili ih može utvrditi sam odjel studija rada. Pri uvođenju službe studija rada dobro je da analitičari započnu jednostavnijim problemom pa da sticanjem iskustva prelaze na složenije zadatke.

— Problemi na koje upozorava prodaja: reklamacije, mogućnost povećanja količine, potreba sniženja cijene.

— Problemi na koje upućuje proizvodnja: opadanje kvalitete, smanjenje kapaciteta zbog zastoja, zbog nestašica sirovina ili zbog uskih grla, mjesta čestih nezgoda, radovi na kojima radi veći broj radnika.

Načini na koje provodimo izbor problema:

— analiza proizvodnog programa
— analiza proizvoda.

43.331 Analiza proizvodnog programa

Da bismo dobili uvid u to koji proizvodi čine glavninu proizvodnje, služimo se analizom proizvodnog programa. Pri tome će nam poslužiti činjenica da 15 do 20% proizvoda čine oko 80% proizvodnog programa. Time nalazimo proizvode na kojima izvodimo poboljšanje jer ono donosi najveće koristi. Tu analizu provodimo tako da proizvedene količine proizvoda svrstamo po padajućoj količini. U tablici 1. imamo jednostavan primjer proizvodnog programa:

Tablica 1.

Proizvod	Količina (komada)	Proizvod	Količina (komada)
1	20 000	9	100
2	500	10	400
3	7 000	11	1 500
4	12 000	12	11 000
5	16 500	13	2 000
6	8 000	14	800
7	20	15	300
8	10	16	1 700
		Svega 1—16	81 830

Kad proizvode svrstamo po padajućoj količini, dobivamo tablicu 2.

Tablica 2.

Proizvod	Količina (komada)	Kumulativno (komada)
1	2	3
1	20 000	20 000
5	16 500	36 500
4	12 000	48 500
12	11 000	59 500
6	8 000	67 500
3	7 000	74 500
13	2 000	76 500
16	1 700	78 200
11	1 500	79 700
14	800	80 500
2	500	81 000
10	400	81 400
15	300	81 700
9	100	81 800
7	20	81 820
8	10	81 830

Tablica nam pokazuje da pet proizvoda, tj. 30% daje 82,5% proizvodnje. Tablica 2. omogućava i grafički prikaz i izbor količine i vrste proizvoda. Redni broj (naziv) proizvoda stavljamo na apscisu (kolona 1), a na ordinatu pripadnu kumulativnu količinu (3) ili količinu kolone 2.

43.332 Analiza proizvoda

Ako se proizvodi sastoje od dijelova, prikazujemo ih na isti način po redoslijedu padajućih troškova materijala i vremena izrade. Tako nalazimo dijelove proizvoda koji čine glavni dio ukupnih troškova i na njih usmjerujemo svoje djelovanje pojednostavnjenja. Kod tih sastavljenih proizvoda u svrhu pregleda podataka, postupaka i redoslijeda izrade poslužit će nam tehnološka karta sastava.

Postupci se označuju simbolima:

operacija	○
kontrola	□
transport	⇒
zastoj	D
skladištenje	▽

Za svaki dio označimo simbolima redoslijed postupaka, pri čemu dijelove poredamo tako da se glavni dio za montažu postavi u sredinu pregleda, oko njega dijelovi koji ulaze ranije u sastav, a dalje oni kasniji. Primjer tehnološke karte pokazuje ①. Brojevi uz simbol transporta označavaju udaljenost u metrima.

Za izbor problema i ocjenu detaljnosti analize uzimaju se u obzir ovi faktori:

1 — godišnji broj ponavljanja operacije
2 — visina osobnih dohodaka po satu
3 — vremenski udio rada na koji se može utjecati
4 — predvidivo trajanje izvođenja proizvoda.

Prva dva faktora mogu se obuhvatiti jednim indeksom koji pokazuje godišnje troškove po stotinki minute: godišnje ponavljanje operacije × visina OD po satu × 0,000 167.

Primjer. Radnik izvodi rad 300 000 puta na godinu, visina OD po satu 2 d. Indeks daje godišnje troškove za stoti dio minute 100,20 d. To je već djelatnost pri kojoj i dio minute ima osjetnu vrijednost. No ipak treba sve faktore zajedno uzeti u ocjenu.

43.34 IZRAČUNAVANJE KORISTI

Provodi se u dva navrata — dvije faze — kao predračun nakon izbora problema da bismo znali kako opsežnu analizu možemo primijeniti, a poslije provedbe poboljšanog načina kao izračunavanje postignute uštede. Na taj način provjeravamo elemente predračuna i efikasnost provedbe. Opće izračunavanje koristi treba da nam dade iznos koristi koju možemo očekivati od pojednostavnjenja.

Označimo:

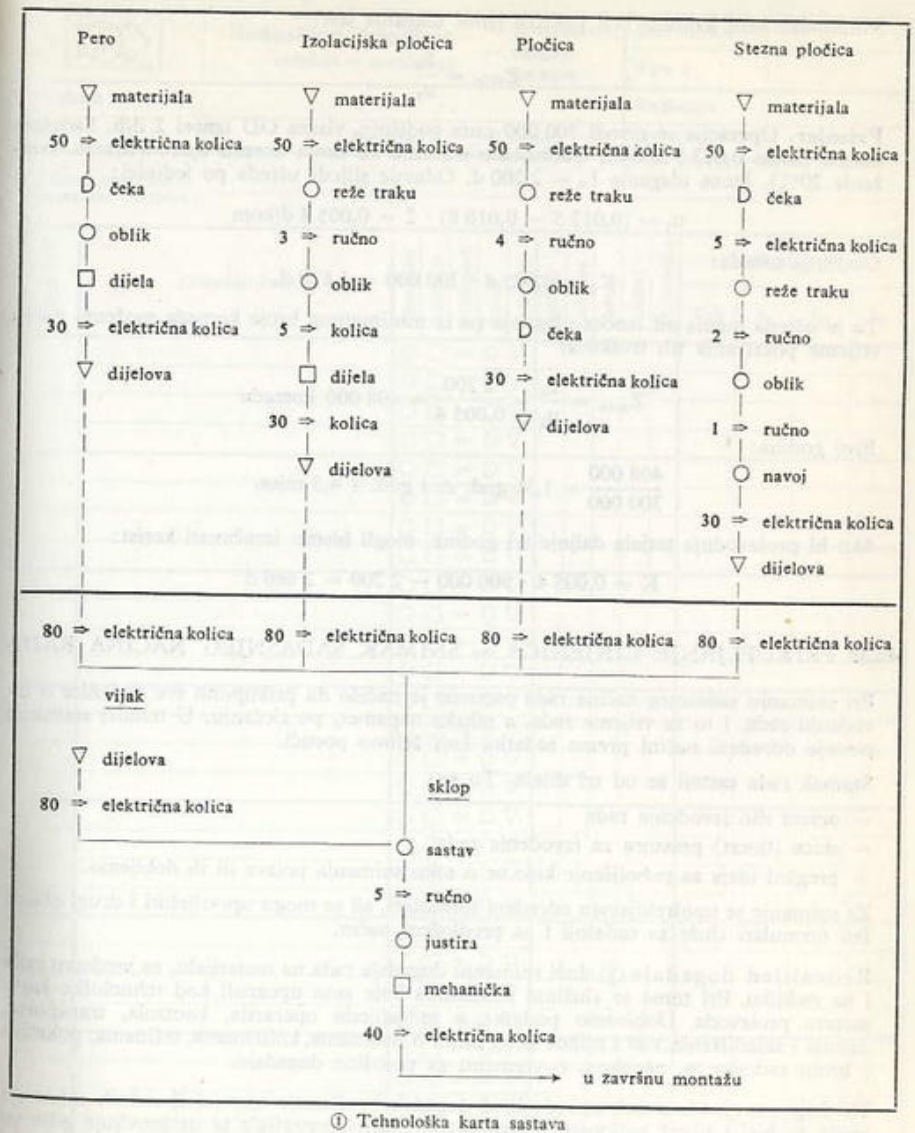
I_u — **iznos ulaganja** za pojednostavnjenje: cijene nove opreme, izvršenja analize, postavljanje nove opreme, uvođenje u rad, izmjene u konstrukciji, vrijednost tada neotpisane opreme

u_1 — **ušteda po jedinici** rezultira iz razlike sadašnjih i predviđenih troškova; glavni su materijal i osobni dohoci izrade, a ako povećamo proizvodnju, onda i indirektni troškovi

Z — ukupan broj komada koji ćemo još proizvesti (podatak nam daje prodaja)

Z_{min} — minimalan broj komada koji pokriva iznos ulaganja

K — korist ili ukupna ušteda koja je rezultat pojednostavnjenja.



① Tehnološka karta sastava

Korist izračunavamo:

$$K = Z \cdot u_1 - I_u$$

pri čemu se dobiva:

$$u_1 = T_s - T_n$$

gdje su T_s — troškovi izrade sada
T_n — predviđeni troškovi izrade.

Minimalan broj jedinica koji pokriva iznos ulaganja jest:

$$Z_{min} = \frac{I_u}{u_1}$$

Primjer. Operacija se izvodi 300 000 puta godišnje, visina OD iznosi 2 d/h. Sadašnja norma iznosi 0,013 5 h/kom. Očekujemo sniženje na novu normu 0,010 8 h/kom. (sniženje 20%). Iznos ulaganja I_u = 2 200 d. Odavde slijedi ušteda po jedinici:

$$u_1 = (0{,}013\,5 - 0{,}010\,8) \cdot 2 = 0{,}005\,4 \text{ d/kom}$$

Godišnja ušteda:

$$K_g = 0{,}005\,4 \cdot 300\,000 = 1\,620 \text{ d.}$$

Ta je ušteda manja od iznosa ulaganja pa iz minimalnog broja komada možemo naći i vrijeme pokrivanja tih troškova.

$$Z_{min} = \frac{I_u}{u_1} = \frac{2\,200}{0{,}005\,4} = 408\,000 \text{ komada}$$

Broj godina:

$$\frac{408\,000}{300\,000} = 1{,}36 \text{ god.} \doteq 1 \text{ god. i } 4{,}3 \text{ mjes.}$$

Ako bi proizvodnja trajala daljnje tri godine, mogli bismo izračunati korist:

$$K = 0{,}005\,4 \cdot 900\,000 - 2\,200 = 2\,660 \text{ d}$$

43.35 PRIKUPLJANJE ČINJENICA — SNIMAK SADAŠNJEG NAČINA RADA

Pri snimanju sadašnjeg načina rada osnovno je načelo da prikupimo sve činjenice o izvođenju rada, i to za vrijeme rada, a nikako napamet, po sjećanju. U tehnici snimanja postoje određeni načini prema zadatku koji želimo postići.

Snimak rada sastoji se od tri dijela. To su:

- opisni dio izvođenja rada
- skica (tlocrt) prostora za izvođenje rada
- pregled ideja za poboljšanje koje se u toku snimanja pojave ili ih dobijemo.

Za snimanje se upotrebljavaju određeni formulari, ali se mogu upotrijebiti i drugi oblici. Isti formulari služe za sadašnji i za predloženi način.

Redoslijed događaja ② služi snimanju događaja rada na materijalu, na sredstvu rada i na radniku. Pri tome se služimo simbolima koje smo upoznali kod tehnološke karte sastava proizvoda. Dobivamo podatke o redoslijedu operacija, kontrola, transporta, zastoja i skladištenja, kao i njihov broj, zatim o daljinama, količinama, težinama, položaju i broju radnika te, napokon, o vremenu za pojedine događaje.

Hodogram ③ ide uvijek uz redoslijed događaja i prikazuje razmještaj radnih mjesta, a može to biti i tlocrt radionice. Ucrtavaju se putovi materijala te ustanovljuje gdje su najgušći protoci materijala i gdje su dugi transportni putovi. Ako se hodogram napravi koncem, onda se razmatanjem konca dobije ukupna dužina transportnih putova.

Opis izvođenja rada ④ služi za dobivanje podataka o izvođenju rada na jednom radnom mjestu. Rad opisujemo u logičkim cjelinama — zahvatima — kao dijelovima operacije, koje služe i studiju vremena. Ključne točke su podaci i upute za lako, sigurno, ispravno i točno izvođenje rada. Vrijeme izrade upisujemo za pojedine elemente rada kako bismo mogli usporediti sadašnji način rada s predloženim.

Redoslijed događaja sadašnji — predloženi	— materijala — radnika — sredstva	Broj analize	
		Veza s	
Predmet		Radionica	
Dio	Materijal / Težina	Nacrt broj	
Snimanje počinje: Snimanje završava:			

Redni broj	Događaji rada	Operacija	Kontrola	Transport	Zastoj	Skladište	Daljina	Količina	Težina	Položaj	Br. radnika	Vrijeme u ch Tpz	t_o	t_{tr}	$t_č$
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
		○	□	⇒	D	▽									
Primjedbe	Zbroj / Prije / Razlika														

Datum snimka:	Snimio:	Datum razrade:	Razradio:	Pregledao:	List:

② Redoslijed događaja

Hodogram

sadašnji — predloženi

Broj analize

Veza s

Predmet:

Radionica

Dio:

Materijal:

Težina:

Legenda:

Mj. 1 □ =

Datum snimka:	Snimio:	Datum razrade:	Razradio:	Pregledao:	List:

③ Hodogram

Opis izvođenja rada

sadašnji — predloženi

Broj analize

Veza s

Predmet:

Radionica

Dio:

Materijal:

Težina:

Nacrt broj

Operacija:

Broj:

Točnost

Radno mjesto:

Radnik:

Kvalifikacija:

Godina rada

Snimanje počinje:

Snimanje završava:

Redni broj	Zahvati za izvršenje rada Elementi rada	t ch	Ključne točke: podaci za ispravno, lako, točno i sigurno izvođenje rada

Datum snimka:	Snimio:	Datum razrade:	Razradio:	Pregledao:	List:

④ Opis izvođenja rada

Snimak radnog mjesta ⑤ radi se uvijek s opisom izvođenja rada zajedno jer je to skica — tlocrt — radnog mjesta s razmještajem predmeta, alata, naprava na radnom mjestu. On omogućuje prilagođivanje razmještaja načinu rada.

List za proučavanje ⑥ služi za upisivanje ideja za poboljšanje rada koje naiđu u toku snimka ili ih saznajemo od drugih. Time se služimo kad provodimo pojednostavnjenje. List sadržava kolonu za kritička pitanja: što, tko, gdje, kad i kako; zatim bilješke o idejama, ime onoga tko ih je dao te stupac za »zaključke«. Ovdje su označeni načini kako možemo djelovati, a to su: izostavi, zamijeni, ujedini, promijeni redoslijed, premjesti, poboljšaj.

Simo-snimak rada čovjeka ⑦ upotebljavamo za detaljno opisivanje izvođenja u osnovnim pokretima, terblizima. Formular je podijeljen na dva dijela: za zapise lijeve i za zapise desne strane, za opis pokreta, za daljinu u centimetrima, za simbol i za vrijeme. Uz simo-snimak služimo se i snimkom radnog mjesta jer je to skica radnog mjesta.

Snimak rada čovjek-stroj ⑧ ima dvije kolone za opis aktivnosti čovjeka i za opis rada stroja ili njegova zastoja. Na taj način vidimo iskorištenje radnika i stroja pa možemo predvidjeti dodatni rad za čovjeka ili rad na više strojeva. Nakon upisivanja podataka izrađujemo isti snimak u vremenskom mjerilu tako da imamo odnose rada čovjeka i stroja, njihova prekrivanja i slobodna vremena.

Snimak rada skupine ljudi ⑨. U kockasti dio dolaze simboli aktivnosti ili čekanja, a u njih redni broj operacije. Svaka kolona odnosi se na jednog radnika u skupini i on se označi zanimanjem ili fazom koju obavlja, npr. zakivač, monter, pomagač. U redne brojeve upisujemo operacije koje pojedini radnici u skupini istodobno izvršavaju, ali ne mjerimo vrijeme. Kao zadnja aktivnost dolazi čekanje. Na kraju izračunavamo broj simbola za jedinicu rada. On će biti mjerilo uštede pri poboljšanju.

43.36 PROUČAVANJE I RAZRADA POBOLJŠANOG NAČINA RADA

Proučavanje rada počinje već pri samom snimanju zapisivanjem ideja za poboljšanje, osobito onih koje nam daju svi oni koji sudjeluju pri samom radu. Polazeći od osnovnih pitanja:

TKO radi — za osobu koja radi
ŠTO se radi — za predmet rada
GDJE se radi — za mjesto rada
KAD se radi — za vrijeme i redoslijed rada
KAKO se radi — za način rada

i postavljajući svakom odgovoru pitanje »zašto«, tražimo naučno opravdanje za svaki element rada. Pri tome se načini djelovanja u traženju poboljšanja svode na to da možemo

IZOSTAVITI sve što je nepotrebno u radu ili čitavu operaciju. To pokušavamo uvijek učiniti kao prvo jer osim vremena izrade uštedujemo i vrijeme daljnje analize.

KOMBINIRATI nekoliko zahvata ili operacija zajedno, višestruke alate. Time uštedujemo prenošenje i skraćujemo prolaz kroz pogon.

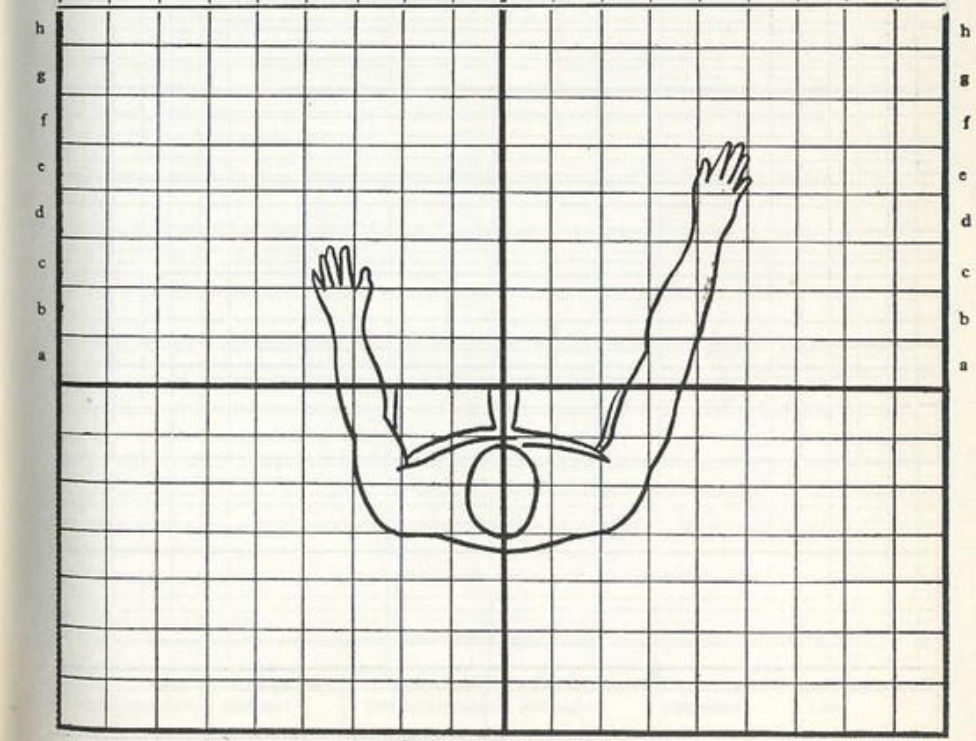
PROMIJENITI REDOSLIJED zahvatima ili operacijama, svemu što je nepovoljno za izvođenje najpovoljnijeg slijeda zahvata. To olakšava izvođenje rada.

ZAMIJENITI neprikladne alate, naprave, materijale. Povećavamo učinak rada.

POJEDNOSTAVNITI pokrete u radu, alate i naprave, stezanje predmeta, metode rada ili transporta. Smanjujemo vrijeme izrade.

Snimak radnog mjesta
sadašnji — predloženi

Predmet:				Broj analize	
Dio:	Materijal:		Težina:	Veza s	
Operacija:				Radionica	
Radno mjesto:	Radnik:		Kvalifikacija:	Nacrt broj	
Oprema:		Alat:		Točnost	
				Godina rada	



⑤ Snimak radnog mjesta

List za proučavanje | Broj analize | | Veza s

Veza broj	Kritika: zašto?					BILJEŠKA O IDEJAMA	Zaključak						
	što	tko	gdje	kad	kako		izostavi	zamijeni	ujedini	promijeni redoslijed	premjesti	poboljšaj

Datum snimka:	Snimio:	Datum razrade:	Razradio:	Pregledao:	List:

⑥ List za proučavanje

Simo-snimak rada čovjeka

sadašnji — predloženi

Broj analize | Veza s

Predmet: | Radionica

Dio: | Materijal: | Težina: | Nacrt broj

Operacija: | Broj: | Točnost

Radno mjesto: | Radnik: | Kvalifikacija: | Godina rada

Snimanje počinje: .....
Snimanje završava: .....

Redni broj	Lijeva strana (ruka, noga)	Daljina cm	Simbol	t	Simbol	Daljina cm	Desna strana (ruka, noga)

Datum snimka:	Snimio:	Datum razrade:	Razradio:	Pregledao:	List:

⑦ Simo-snimak rada čovjeka

Snimak rada čovjek - stroj

sadašnji — predloženi

Broj analize					
Veza s					
Predmet:				Radionica	
Dio:	Materijal:	Težina:		Nacrt broj	
Operacija:		Broj:		Točnost	
Radno mjesto:	Radnik:	Kvalifikacija:		Godina rada	

Snimak počinje: .....
Snimak završava:

Čovjek	s	t	s	Stroj

Datum snimka:	Snimio:	Datum razrade:	Razradio:	Pregledao:	List:

⑧ Snimak rada čovjek-stroj

Snimak rada skupine ljudi

Broj analize			
Veza s			
Predmet:		Radionica	
Podaci o radu skupine:		Broj ljudi u skupini	

Redni broj	Operacija — Opis
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	

Primjedba:

	Sada	Prijedlog
S = zbroj simbola na listu		
J = broj izrađenih jedinica		
$R = \frac{S}{J}$ radni odnos		
ušteda $= \frac{R_s - R_n}{R_s} \cdot 100$ %		

Datum snimka:	Snimio:	Datum razrade:	Razradio:	Pregledao:	List:

⑨ Snimak rada skupine ljudi

43.361 Zakoni za racionalizaciju pokreta

Smanjivanjem broja ili jednostavnijim pokretima treba izvesti rad pa to vodi pojednostavnjenju. Te činjenice sažete su u osnovnim zakonima za racionalizaciju pokreta.

1 — Dva radnika iste spretnosti pri ulaganju istog napora za izvršavanje jednakih pokreta trošit će jednako vrijeme.

2 — Obje ruke istodobno započinju i završavaju rad, a miruju samo za vrijeme odmora.

3 — Pokrete izvoditi istodobno, simetrično i u suprotnim smjerovima. To stvara ritam i daje tijelu ravnotežu.

4 — Izabrati pokret s najmanje osnovnih pokreta (terbliga).

5 — Za pokrete manjih masa mišića umor je manji. Po stupnju težine od najlakših počinju:

— pokreti prstiju
— pokreti prstiju i šake
— pokreti prstiju šake i podlaktice
— pokreti prstiju šake, podlaktice i nadlaktice
— isti pokreti, uključiv i rame, te najzad
— pokreti tijela.

43.362 Načela za poboljšanje rada

Na temelju tih zakona razvila su se načela za poboljšanje rada. Navest ćemo glavna, a za širi pregled upućujemo na literaturu (2 i 6). Prvo je načelo primjena iskustva sa sličnog rada. Na taj način odmah primjenjujemo iskušane metode i rješenja.

Načela upotrebe ljudskog tijela sadržana su u osnovi u zakonima racionalizacije pokreta. Ipak ima nekih ideja koje proizlaze iz toga, kao što su:

— osloboditi ruke držanja
— silu teže iskoristiti za skraćenje odlaganja i transporta
— urediti radno mjesto da radnik izmjenično može sjediti i stajati.

Načela upotrebe alata:

— paziti na zaštićenu izvedbu alata da se izbjegnu povrede
— upotrijebiti ručke alata pogodne za prihvaćanje sa što manje napora i lako djelovanje na poluge
— kombinirati alate za više operacija ili komada
— alate dovesti u blizinu mjesta zahvata i u položaj za brzo prihvaćanje (npr. obješen alat).

Načela o razmještaju jesu:

— na radnom mjestu treba da je sve smješteno u polju normalnog ili maksimalnog dohvata
— razmještaj dijelova i alata treba da je prilagođen redoslijedu zahvata
— položaj dijelova mora biti pogodan za lako prihvaćanje (kutije s otvorom, meka podloga)
— smještaj alata valja da je takav da se ovaj može dohvatiti bez dodatnih pokreta.

43.37 PROVEDBA POBOLJŠANOG NAČINA RADA

Ona uključuje:

— dobivanje odobrenja za provedbu. Linijsko rukovodstvo treba da provede novi način rada pa je potrebno da organi upravljanja odobre sredstva. U jednostavnijim slučajevima, gdje se ne radi o većim iznosima ulaganja, može biti dovoljna samo obavijest jer su sredstva već odobrena davanjem zadatka.

— pokusni rad. On daje mogućnost da se otkriju i oni elementi koji u prijedlogu nisu dovoljno proučeni, a time postizavamo krajnje moguće pojednostavnjenje. Treba svakako nastojati da se to izradi na posebnom radnom mjestu izvan radionice.

— pouka u novom načinu rada. Provodi se putem poslovođe i brigadira, koji će onda pomagati u pouci radnika.

— ishoditi pogodnu stimulaciju. Radnik treba da za vrijeme priučavanja ima stimulaciju koja mu kompenzira gubitak na radu po novoj normi dok se ne uvježba. Zatim treba posebnim nagradama stimulirati sugestije za poboljšanje.

43.38 STANDARDIZACIJA RADA

Sastoji se u tome da se postignuti poboljšani rad propiše. Tako uglavnom razlikujemo:

— standard radnog razmještaja
— standard načina izrade (ručni ili strojni).

U standardu radnog razmještaja daju se u pismenom obliku svi podaci o provedenom poboljšanju da se omogući stalno održavanje postignutog načina rada. On sadržava tlocrt radionice s razmještajem radnih mjesta, opis radova, opremu, radne uvjete i podatke o načinu transporta.

Razlikujemo standard načina izrade za strojno i isti takav standard za ručno radno mjesto. Izrađuje se za radno mjesto, kao i standard radnog razmještaja za radionicu. Za ručno radno mjesto standard sadržava tlocrt radnog mjesta, potrebne specijalne alate i naprave, opis elemenata (zahvata), ključne točke i potrebnu kontrolu.

Standard strojnog radnog mjesta sadržava također skicu radnog mjesta i predmeta za obradu, alate, te režime rada za tu strojnu obradu.

RADOŠEVIĆ Dušan, dipl. inženjer strojarstva

ODRŽAVANJE

44.1 PRIPREMA RADA ODRŽAVANJA 1104
Snimanje kvarova i određivanje tehnološkog procesa za popravak i izradu novih dijelova 1105
44.2 PODMAZIVANJE STROJEVA I UREĐAJA 1106
44.3 PREVENTIVNI PREGLEDI STROJEVA I UREĐAJA 1108
44.4 DEFINIRANJE I ORGANIZIRANJE PLANSKIH POPRAVAKA I PLANIRANJE MATERIJALA I REZERVNIH DIJELOVA 1110
44.5 PLANIRANJE I ODREĐIVANJE ROKOVA ZA RADOVE U RADIONICAMA ODRŽAVANJA 1114
44.6 IZRADA I LANSIRANJE RADNE DOKUMENTACIJE 1118

Literatura

Vila inž. Antun: Organizacija plansko-preventivnog održavanja, Zagreb, ZPZ, 1965.
Nikonenko inž. Daniel: Služba održavanja u industrijskim poduzećima, Savezni centar za obrazovanje rukovodnih kadrova u privredi, Zagreb 1960.

44 ODRŽAVANJE

Funkcija održavanja obuhvaća sve službe i akcije koje se obavljaju na održavanju strojeva, postrojenja, aparatura, zgrada i ostalog inventara u poduzeću. Organizacija održavanja u poduzeću mora biti takva da djeluje preventivno i planski.

Preventivno održavanje ima zadatak da spriječi nastajanje kvarova na sredstvima koja su mu povjerena, tj. da racionalnim akcijama pronalazi i uklanja uzroke kvarova prije nego što su se oni dogodili.

Plansko održavanje ima zadatak da naše akcije na održavanju raspodijeli u vremenu i u prostoru tako da se one mogu odvijati nesmetano i bez zastoja. Dobrom organizacijom planskog održavanja smanjujemo gubitke uslijed zastoja u proizvodnji i broj ljudi u službi održavanja te snizujemo troškove održavanja.

Preventivno i plansko održavanje treba organizirati paralelno jer se ta dva oblika održavanja međusobno nadopunjuju. Prema tome, pojmom održavanja je u ovom poglavlju obuhvaćeno preventivno plansko održavanje.

Organizacija održavanja u raznim industrijskim poduzećima može imati razne oblike. Međutim, svi ti pojedinačni organizacijski oblici održavanja mogu se svesti na dva osnovna tipa, a to su: centralizirana služba održavanja i decentralizirane službe održavanja u poduzeću. Postoje također i centralizirane službe održavanja za niz poduzeća, ali su takva organizacijska rješenja kod nas u industrijskim poduzećima vrlo rijetka.

Održavanje u industrijskim poduzećima najčešće se sastoji od dva osnovna odjela: od pripreme rada održavanja i od operative održavanja, tj. od specijaliziranih radionica održavanja.

44.1 PRIPREMA RADA ODRŽAVANJA

Veličina pripreme rada održavanja ovisi o veličini i specifičnostima poduzeća, a funkcije koje ona treba da izvrši jesu:

1 — snimanje kvarova i određivanje tehnološkog procesa za popravak i izradu novih dijelova te konstrukcija doknadnih dijelova i rekonstrukcija strojeva i postrojenja

2 — podmazivanje strojeva i uređaja

3 — preventivni pregled strojeva i uređaja

4 — definiranje i organiziranje planskih popravaka te planiranje materijala i rezervnih dijelova za popravke

5 — planiranje i određivanje rokova za pojedine radove u radionicama održavanja

6 — izrada i lansiranje radne dokumentacije.

Za izvršenje tih funkcija priprema rada može imati u svom sastavu čitav niz odjela. U velikim poduzećima ona ima ove odjele:

— konstrukcijski ured održavanja
— tehnološki ured održavanja
— službu podmazivanja
— službu preventivnog održavanja
— službu planskog održavanja
— terminsku službu za radove u radionicama održavanja
— odjel za lansiranje i obračun radne dokumentacije
— skladište rezervnih dijelova.

44.11 SNIMANJE KVAROVA I ODREĐIVANJE TEHNOLOŠKOG PROCESA ZA POPRAVAK I IZRADU NOVIH DIJELOVA

Svakoj akciji na uklanjanju kvara treba da prethodi snimanje kvara ili defektacija. Svrha je defektacije da utvrdi što je i u kojoj mjeri pokvareno, može li se kvar popraviti ili treba pojedini dio stroja nadomjestiti novim te na koji način treba izvršiti popravak. Defektaciju obavlja tehnolog defektant.

Pošto je izdan nalog za popravak stroja, ovaj se rastavlja, a njegovi pojedini dijelovi očiste se i sortiraju prema funkcionalnim sklopovima. Nakon toga tehnolog defektant pregledava dio po dio rastavljenog stroja. Na svaki dio koji nije ispravan veže žicom ili uzicom markicu i upisuje ga u defektacijsku listu ①.

Redni broj	Naziv dijela	Popravak	Nova	Komada	Opis popravka	Materijal			Vrsta obrade											
						Vrsta	Dimenzije	Komada	Tokarenje	Glodanje	Blanjanje	Brušenje	Bušenje	Bravarska obrada	Varenje	Kaljenje	Cementiranje			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

① Defektacijska lista

U defektacijsku listu upisuju se dijelovi stroja prema brojevima na markicama. Jasno je da dvije markice ne smiju nikad imati isti broj jer bi u takvu slučaju moglo doći do zabune. Osim broja markice u defektacijsku listu upiše se i kratak naziv odgovarajućeg dijela stroja, a zatim se naznači može li se spomenuti dio popraviti ili je potrebno izraditi novi. Slijedi broj komada i opis popravka, odnosno izrade novog komada. Daljnje rubrike definiraju materijal iz kojega će se izraditi novi dio. Krajnje rubrike služe za definiranje tehnološkog procesa za obradu, odnosno za popravak dijela. Na temelju svog iskustva tehnolog ocjenjuje potrebno radno vrijeme na poslu određene vrste za popravak, odnosno izradu novog dijela i taj broj sati upisuje u za to predviđenu rubriku.

Defektacijska lista je glavni dokument na temelju kojeg će se izdati radna dokumentacija i obaviti svi radovi u radionicama. Ako je potrebno, tehnolog će uz tu listu izraditi i ručne skice. Kad je potrebno da se izradi nova konstrukcija nekog dijela ili sklopa, obavijestit će konstrukcijski ured održavanja posebnim dokumentom, tj. zahtjevom za konstrukciju i dostaviti sve dijelove, odnosno sklopove zajedno sa spomenutim zahtjevom u konstrukcijski ured, a ovaj je dužan izraditi nove kostrukcije prema zahtjevu

tehnologa. Ako su dijelovi takve veličine da se ne mogu lako prenijeti u konstrukcijski ured, konstruktor će doći u radionicu u kojoj se ti dijelovi nalaze. Pošto je konstrukcija, odnosno crtež završen tehnolog defektant će na crteže pojedinih dijelova udarati žigove s oznakom obrada te naznačiti vrijeme koje je potrebno za taj posao ②.

Na temelju tih žigova izdaje se zatim radna dokumentacija i dijelovi šalju na obradu.

Broj operacija	Operacija	sati
	Tokarenje	
	Glodanje	
	Blaljanje	
	Brušenje	
	Bušenje	
	Zavarivanje	
	Kaljenje	
	Cementiranje	
	Bravarska obrada	
Datum	Potpis	

② Žig za crteže s oznakom obrade

44.2 PODMAZIVANJE STROJEVA I UREĐAJA

Podmazivanje je značajan dio funkcije održavanja, jer o njegovoj pravodobnosti i ispravnosti ovisi očuvanje radne sposobnosti i vijek trajanja strojeva. Da bi se mogla voditi briga o podmazivanju, potrebno je organizirati službu podmazivanja u poduzeću. Racionalno organizirana služba podmazivanja ima zadatak da:

- odredi mjesta podmazivanja kod svih strojeva i uređaja
- odredi asortiman i potrebne količine sredstava za podmazivanje
- odredi učestalost i način podmazivanja
- nabavlja određene količine maziva
- izdaje naloge za podmazivanje i kontrolira provedbu podmazivanja.

Da bi se ti zadaci mogli uspješno izvršiti, potrebno je ponajprije ustrojiti kartoteku podmazivanja strojeva ③.

Na karti podmazivanja stroja treba da se nalaze osnovni podaci o podmazivanju. Taj dokument mora sadržavati fotografiju ili shemu stroja s naznakom mjesta na kojima se ima izvršiti podmazivanje. Na drugoj strani dokumenta, koja je prikazana na ③, nalaze se iznad zaglavlja karte brojevi od 1 do 52, koji označavaju tjedne u godini. Te oznake služe za to da bi se na njih mogli staviti raznobojni jahači koji će nas upozoriti u kojem tjednu moramo izvršiti podmazivanje na tom stroju. Nakon toga slijede podaci o samom stroju, a ispod njih podaci o mjestima podmazivanja i o mazivu.

Mjesta podmazivanja popisana su prema oznakama na skici ili fotografiji stroja, a uz njih se odmah upisuje i količina, tj. broj mjesta podmazivanja te vrsta mazalica (npr. mazalica Staufer). Nakon toga slijede rubrike učestalosti akcija na podmazivanju, koje su na karti označene skraćenicama. One označavaju:

Do — potrebu dodavanja maziva
Pr — potrebu povremenog pregleda maziva na stroju
Č — potrebu čišćenja
Mj — potrebu izmjene maziva.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52

KARTA PODMAZIVANJA STROJA

NAZIV STROJA Proizvođač								Tip Tvornički broj Godina izrade Godina nabave		Inventarski broj Radno mjesto Skupina	
Mjesto podmazivanja				Učestalost							
Dio stroja	Mjesto podmazivanja	Količina	vrsta	Do	Pr	Č	Mj	Interna oznaka	Oznaka proizvođača	Mogućnost zamjene sa	Preporučuje se dobavljač

③ Karta podmazivanja stroja

Ispod tih oznaka kolona upisuje se učestalost spomenutih akcija. Na primjer, u koloni Do nalazimo oznaku 1 × T, što znači da mazivo treba dodavati jedanput tjedno. Kao oznake vremenskih intervala obično se uzimaju slova: G (godišnje), M (mjesečno), T (tjedno). D (dnevno), S (smjena) i H (sat).

Daljnje rubrike odnose se na podatke o mazivu. Prije izrade karti podmazivanja potrebno je izraditi popis svih maziva kojima poduzeće raspolaže te izvršiti njihovu sistematizaciju i odrediti im interne oznake.

Izvori podataka za izbor maziva i učestalosti podmazivanja jesu:

- podaci proizvođača stroja
- podaci proizvođača maziva
- podaci iz stručne literature
- podaci o eksploataciji strojeva
- sistematizirani podaci o trajnosti pojedinih dijelova strojeva.

Na temelju sređenih podataka na kartama podmazivanja označavaju se mjesta podmazivanja na strojevima. To se najčešće izvodi raznobojnim naljepnicama ili pločicama. I jedne i druge mogu biti raznih geometrijskih oblika (trokut, zvijezda, krug itd.). Svaki pojedini oblik može predstavljati vrstu maziva, npr. trokut — motorno ulje. Boja znaka može označavati viskozitet maziva ili učestalost podmazivanja. Na sam znak se zatim utisne brojčani podatak, tj. koliko puta i u kojem razdoblju treba izvršiti podmazivanje (v. ④).

④ Oznake podmazivanja

Broj takvih vrsta oznaka i njihova boja ovise o tome kako smo proveli sistematizaciju maziva. Te iste oznake stavljaju se i na ambalažu maziva i na kantice, odnosno na uređaje

za podmazivanje. Prema tome, osoba kojoj je povjereno podmazivanje mora samo paziti na spomenute oznake, tj. da na određeno mjesto stavi ispravno mazivo.

Za sve veće količine maziva, kao što su, na primjer, izmjene ulja i sl. izdaje se poseban dokument, tj. nalog za podmazivanje, kako bismo bili sigurni da će se mazivo zaista izmijeniti. Nalozi za podmazivanje izdaju se prema jahačima na kartama za podmazivanje.

44.3 PREVENTIVNI PREGLEDI STROJEVA I UREĐAJA

Svrha je preventivnih pregleda uklanjanje manjih nedostataka na strojevima i prikupljanje podataka o trajnosti pojedinih dijelova i sklopova u radu. Pregled stroja zahtijeva sposobnost i znanje osobe koja ga obavlja kako bi se mogla otkriti mogućnost nastajanja kvara ili već početak kvara. Pregledi strojeva moraju se provoditi sistematski, a o nalazima moraju se podnositi izvještaji. Ti se pregledi obično obavljaju u vrijeme kad strojevi stoje zbog raznih proizvodnih uzroka, npr. za vrijeme dok se mijenja alat na stroju ili u drugoj smjeni, kad stroj ne radi, itd. Za vrijeme pregleda pregledavač stroja može izvršiti niz radova na ovome. Ti radovi su, uz pregled određenih mjesta na stroju, još i udešavanje stroja, pričvršćivanje olabavljenih matica i vijaka, čišćenje stanovitih dijelova stroja, podmazivanje i rutinska zamjena dijelova. Svi organizirani pregledi obavljaju se na temelju posebnog dokumenta, tj. lista pregleda.

List preventivnog pregleda broj			Vrsta pregleda		Vrijeme pregleda				
Stroj		Inventarski broj	Planirano vrijeme						
Mjesto pregleda	Opis pregleda	Izmjena		Oznaka dijela ili ulja za izmjenu	Nalaz pregledača				
		dijela	ulja		u redu	promijenjeno ulje	promijenjeno dio	popravio	kvar
Datum	Ispostavio	Pregled izvršio		Kontrola					

⑤ List preventivnog pregleda

Prilikom organizacije službe preventivnih pregleda treba najprije razgraničiti djelokrug rada samog proizvođača na stroju i pregledača strojeva, tj. treba utvrditi koje radnje i akcije može i smije poduzimati na stroju neposredni rukovalac stroja. Zatim treba utvrditi koje akcije on ne smije poduzimati na stroju, nego mora u tu svrhu tražiti stručnu pomoć pregledača strojeva ili drugih osoba iz odjela održavanja. Opseg poslova koje radnik treba da izvrši na stroju zavisi od stručne spreme pojedine osobe, kompliciranosti stroja ili uređaja i od organizacije tehnološkog procesa.

Daljnji posao prilikom uvođenja službe preventivnih pregleda jest utvrđivanje mjesta pregleda, načina pregleda i vremena potrebnog za sam pregled, kao i učestalost pregleda.

Mjesto pregleda utvrđuje se tako da se prostudira konstrukcija stroja i analiziraju mjesta koja dolaze u obzir radi pregleda i provjere ispravnosti.

Pošto su mjesta pregleda utvrđena, treba pronaći najzgodniji način pregleda, tj. utvrditi slijed radova pri samom pregledu, alate koji su nužni za izvršenje pregleda, mjerila za provjeru ispravnosti stroja, način podešavanja nakon izvršenog pregleda itd.

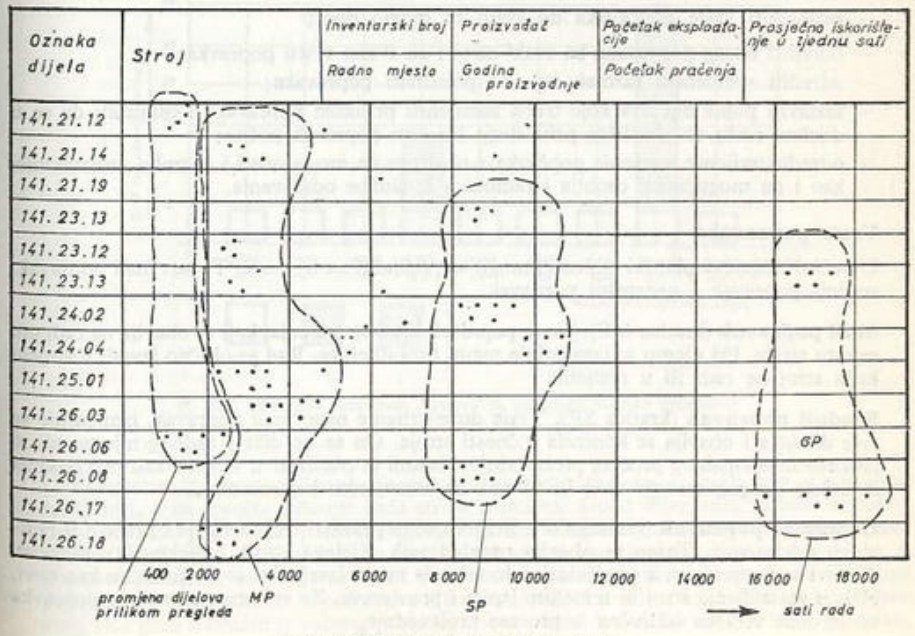
Paralelno s utvrđivanjem načina pregleda treba odrediti i broj ljudi koji će obaviti pregled, kao i vrijeme koje je za to potrebno.

Na kraju moramo utvrditi i učestalost pregleda. Prema učestalosti pregledi mogu biti: smjenski, dnevni, tjedni, dvotjedni, mjesečni, tromjesečni i polugodišnji. U kratkoročnim pregledima neće se pregledavati sva mjesta pregleda na stroju, nego samo ona za koja je to potrebno. Pregledi se obavljaju na temelju pismenog naloga (v. ⑤).

Taj dokument je nalog za izvršenje pregleda određenog stroja. Pregledač dobiva popis svih mjesta na stroju koja treba da pregleda. On ih pregledava prema tom popisu i zatim u odgovarajuće rubrike spomenutog lista upisuje svoj nalaz, i to tako da na određeno mjesto stavi znak (x). Ako je pregledačeva dijagnoza takve prirode da se ona ne može upisati ni u jednu od rubrika, on će je svojim riječima opisati na poleđini dokumenta. Prikupljanjem takvih nalaza i njihovom statističkom obradom mogu se dobiti podaci o trajnosti pojedinih dijelova stroja, a može se korigirati i učestalost samih pregleda. Na temelju podataka o trajnosti pojedinih dijelova određuju se kasnije ciklusi popravaka i zalihe rezervnih dijelova.

Statističko praćenje trajnosti dijelova u radu

Na temelju podataka proizvođača stroja i preventivnih pregleda određuju se dijelovi stroja koji dolaze u obzir za izmjenu. Ti se dijelovi unose u dijagram ⑥.



⑥ Statistički list trajanja dijelova u radu

za podmazivanje. Prema tome, osoba kojoj je povjereno podmazivanje mora samo paziti na spomenute oznake, tj. da na određeno mjesto stavi ispravno mazivo.

Za sve veće količine maziva, kao što su, na primjer, izmjene ulja i sl. izdaje se poseban dokument, tj. nalog za podmazivanje, kako bismo bili sigurni da će se mazivo zaista izmijeniti. Nalozi za podmazivanje izdaju se prema jahačima na kartama za podmazivanje.

44.3 PREVENTIVNI PREGLEDI STROJEVA I UREĐAJA

Svrha je preventivnih pregleda uklanjanje manjih nedostataka na strojevima i prikupljanje podataka o trajnosti pojedinih dijelova i sklopova u radu. Pregled stroja zahtijeva sposobnost i znanje osobe koja ga obavlja kako bi se mogla otkriti mogućnost nastajanja kvara ili već početak kvara. Pregledi strojeva moraju se provoditi sistematski, a o nalazima moraju se podnositi izvještaji. Ti se pregledi obično obavljaju u vrijeme kad strojevi stoje zbog raznih proizvodnih uzroka, npr. za vrijeme dok se mijenja alat na stroju ili u drugoj smjeni, kad stroj ne radi, itd. Za vrijeme pregleda pregledavač stroja može izvršiti niz radova na ovome. Ti radovi su, uz pregled određenih mjesta na stroju, još i udešavanje stroja, pričvršćivanje olabavljenih matica i vijaka, čišćenje stanovitih dijelova stroja, podmazivanje i rutinska zamjena dijelova. Svi organizirani pregledi obavljaju se na temelju posebnog dokumenta, tj. lista pregleda.

List preventivnog pregleda broj			Vrsta pregleda	Vrijeme pregleda
Stroj		Inventarski broj	Planirano vrijeme	

Mjesto pregleda	Opis pregleda	Izmjena		Oznaka dijela ili ulja za izmjenu	Nalaz pregledača				
		dijela	ulja		u redu	promijenjeno ulje	promijenjeno dio	popravio	kvar

Datum	Ispostavio	Pregled izvršio	Kontrola

⑤ List preventivnog pregleda

Prilikom organizacije službe preventivnih pregleda treba najprije razgraničiti djelokrug rada samog proizvodača na stroju i pregledača strojeva, tj. treba utvrditi koje radnje i akcije može i smije poduzimati na stroju neposredni rukovalac stroja. Zatim treba utvrditi koje akcije on ne smije poduzimati na stroju, nego mora u tu svrhu tražiti stručnu pomoć pregledača strojeva ili drugih osoba iz odjela održavanja. Opseg poslova koje radnik treba da izvrši na stroju zavisi od stručne spreme pojedine osobe, kompliciranosti stroja ili uredaja i od organizacije tehnološkog procesa.

Daljnji posao prilikom uvođenja službe preventivnih pregleda jest utvrđivanje mjesta pregleda, načina pregleda i vremena potrebnog za sam pregled, kao i učestalost pregleda.

Mjesto pregleda utvrđuje se tako da se prostudira konstrukcija stroja i analiziraju mjesta koja dolaze u obzir radi pregleda i provjere ispravnosti.

Pošto su mjesta pregleda utvrđena, treba pronaći najzgodniji način pregleda, tj. utvrditi slijed radova pri samom pregledu, alate koji su nužni za izvršenje pregleda, mjerila za provjeru ispravnosti stroja, način podešavanja nakon izvršenog pregleda itd.

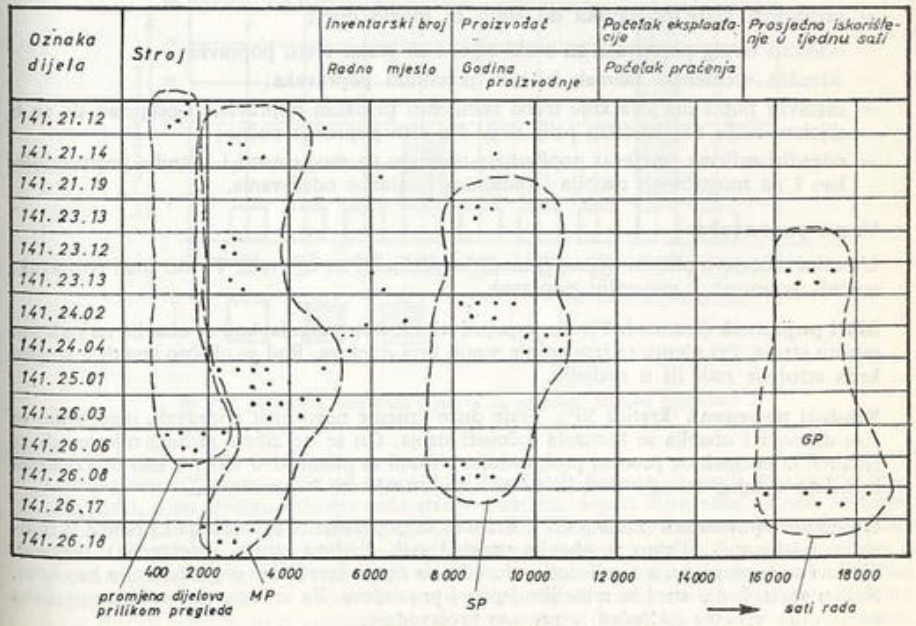
Paralelno s utvrđivanjem načina pregleda treba odrediti i broj ljudi koji će obaviti pregled, kao i vrijeme koje je za to potrebno.

Na kraju moramo utvrditi i učestalost pregleda. Prema učestalosti pregledi mogu biti: smjenski, dnevni, tjedni, dvotjedni, mjesečni, tromjesečni i polugodišnji. U kratkoročnim pregledima neće se pregledavati sva mjesta pregleda na stroju, nego samo ona za koja je to potrebno. Pregledi se obavljaju na temelju pismenog naloga (v. ⑤).

Taj dokument je nalog za izvršenje pregleda određenog stroja. Pregledač dobiva popis svih mjesta na stroju koja treba da pregleda. On ih pregledava prema tom popisu i zatim u odgovarajuće rubrike spomenutog lista upisuje svoj nalaz, i to tako da na određeno mjesto stavi znak (x). Ako je pregledačeva dijagnoza takve prirode da se ona ne može upisati ni u jednu od rubrika, on će je svojim riječima opisati na poleđini dokumenta. Prikupljanjem takvih nalaza i njihovom statističkom obradom mogu se dobiti podaci o trajnosti pojedinih dijelova stroja, a može se korigirati i učestalost samih pregleda. Na temelju podataka o trajnosti pojedinih dijelova određuju se kasnije ciklusi popravaka i zalihe rezervnih dijelova.

Statističko praćenje trajnosti dijelova u radu

Na temelju podataka proizvodača stroja i preventivnih pregleda određuju se dijelovi stroja koji dolaze u obzir za izmjenu. Ti se dijelovi unose u dijagram ⑥.



⑥ Statistički list trajanja dijelova u radu

U tom dijagramu upisuju se po vertikali svi dijelovi stroja za koje pretpostavljamo da ih treba zamijeniti. Po apscisi toga dijagrama naneseni su sati rada samog stroja. Prema podacima dobivenim na temelju preventivnih pregleda o otklanjanju kvarova i planskim popravcima u dijagram se unosi trajnost pojedinih dijelova. Na temelju takvih podataka mogu se uočiti skupine dijelova koji imaju približno isti vijek trajanja, a taj podatak je neobično važan za određivanje ciklusa planskih popravaka i zaliha rezervnih dijelova.

Iz istog dijagrama mogu se također uočiti razne nepravilnosti u pogledu eksploatacije ili održavanja stroja. Ako se na temelju dijagrama konstatira da vijek trajanja nekih dijelova naglo pada, onda je to signal da se sa strojem nešto događa ili se njime nepravilno rukuje, odnosno, podmazivanje je loše ili se na njemu izvodi obrada koja nije prikladna za taj stroj.

Ista je stvar i s učestalošću pregleda. Uzmimo da smo u početku pri dnevnom pregledu imali šest mjesta određenih za pregled. Pregledavajući listu preventivnih pregleda, ustanovili smo da se na tri mjesta nedostatak pojavljivao svega jednom mjesečno. To znači da ta tri mjesta možemo prebaciti iz dnevnih preventivnih pregleda u dvotjedne ili u mjesečne. Može se, naravno, dogoditi i obratan slučaj. Prema tome, očigledno je da se stalnim praćenjem podataka sistem preventivnih pregleda neprestano usavršava.

44.4 DEFINIRANJE I ORGANIZIRANJE PLANSKIH POPRAVAKA I PLANIRANJE MATERIJALA I REZERVNIH DIJELOVA ZA POPRAVKE

Osim preventivnih pregleda postoji još i niz radova na održavanju strojeva u određenim razmacima vremena. Zadatak je ove službe da definira te radove, da sastavi plan njihova izvršenja i da osigura sve potrebno kako bi se oni mogli nesmetano i u pravo vrijeme odvijati.

Prema tome, zadaci ove službe jesu:

- razmotriti vrste popravaka do kojih bi moglo doći;
- odrediti opseg popravaka za svaki stroj i za svaku vrstu popravka;
- odrediti vremenski razmak između pojedinih popravaka;
- sastaviti popis dijelova koje treba zamijeniti prilikom popravaka i osigurati da se ti dijelovi nađu na skladištu prije nego što sam popravak počne;
- odrediti vrijeme izvršenja popravka s obzirom na mogućnosti i potrebe proizvodnje, kao i na mogućnosti osoblja i radionica iz službe održavanja.

Vrste popravaka

U većini slučajeva planski popravci mogu se podijeliti na tri vrste. To su: mali popravak, srednji popravak i generalni popravak.

Mali popravak (kratica MP). To je popravak kratkog trajanja, koji se obavlja na radnom mjestu stroja. Pri njemu se izmjenjuje manji broj dijelova. Rad se obično izvodi u smjeni kada stroj ne radi ili u nedjelju.

Srednji popravak (kratica SP). Traje duže vrijeme nego mali popravak, izmjenjuje se više dijelova i obavlja se kontrola točnosti stroja. On se ne diže s radnog mjesta, ali se izuzima iz normalnog procesa proizvodnje. Nastoji se planirati u vrijeme kad proizvodnja iz nekog drugog razloga stoji ili se radi sa smanjenim kapacitetom.

Generalni popravak (kratica GP). Pri tom se popravku stroj rastavlja i prenosi u radionicu održavanja. Tamo se obavlja pregled svih dijelova stroja (defektacija), dotrajali dijelovi se izmjenjuju, a ostali dotjeruju tako da mogu izvršavati svoju funkciju kao novi. Nakon sastavljanja stroj se temeljito ispita i provjerava. Za vrijeme generalnog popravka on je duže vrijeme isključen iz procesa proizvodnje.

Ciklus popravaka ili određivanje vremenskog razmaka za pojedine popravke.

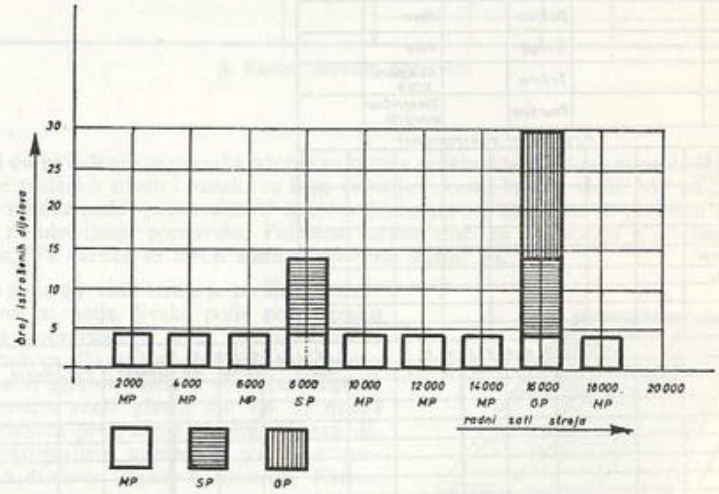
Da bismo odredili vremenski razmak između pojedinih planskih popravaka, služimo se podacima dobivenim od proizvođača strojeva i statističkim podacima dobivenim na temelju preventivnih pregleda (v. prethodno poglavlje i ⑥), zatim podacima iz stručne literature i iskustvom sa strojevima istog tipa ili sličnima.

Prilikom određivanja ciklusa popravaka nastojimo da ciklus većeg popravka bude višekratnik ciklusa manjeg popravka. Na primjer, ako generalni popravak treba izvršiti nakon 16 000 radnih sati, poželjno je da se srednji popravak izvrši nakon 8 000 sati, a mali popravak nakon 4 000 ili 2 000 sati. Analizom statističkog lista trajnosti dijelova u radu ⑥ možemo utvrditi da li je moguće postaviti takav redoslijed. Za prije opisani slučaj redoslijeda GP – 16 000, SP – 8 000 i MP – 2 000 možemo napisati:

$$GP - MP - MP - MP - SP - MP - MP - MP - GP.$$

Popis rezervnih dijelova. Za svaki od navedenih planskih popravaka potrebno je sastaviti popis rezervnih dijelova. Taj popis sastavlja se na temelju podataka iz dijagrama ⑥ ili, ako takav dijagram ne postoji, na temelju iskustva sa sličnim strojevima, odnosno prema podacima i uputama dobivenim od proizvođača strojeva.

Na temelju tih popisa može se sastaviti dijagram, iz kojeg možemo vidjeti koji nam je broj dijelova u nekom vremenskom razmaku potreban za pojedini planski popravak ⑦.



⑦ Broj potrebnih rezervnih dijelova za pojedine planske popravke

U dijagramu ⑦ se na ordinatu nanosi broj istrošenih dijelova, tj. onih koje je potrebno zamijeniti, a na apscisu vrijeme rada stroja u satima. Ispod dijagrama naznači se redoslijed planskih popravaka. Jasno je, a to se vidi i iz dijagrama, da se kod većih popravaka moraju izmijeniti i dijelovi koji su predviđeni za izmjenu kod malih popravaka, ako ti popravci padaju u isto vrijeme kad i veći. Iz toga je razumljiva težnja da se ti ciklusi popravaka podese tako da se oni obave u isto vrijeme. U protivnom slučaju morali bismo stroj više puta isključiti iz radnog procesa, a to svakako dovodi do nepotrebnih gubitaka.

Određivanje vremena planskih popravaka

Vrijeme obavljanja planskih popravaka treba odrediti shodno predviđenom ciklusu popravaka, ali pri tome treba ipak pokazati određenu elastičnost i prilagoditi se mogućnostima i potrebama proizvodnje. Na primjer, srednji popravak dospijeva krajem mjeseca, a u to vrijeme je najviše potrebno da taj stroj radi. Naravno da ga nećemo isključiti iz radnog procesa u tako nezgodno vrijeme, nego ćemo razmotriti mogućnost da popravak obavimo prije planiranog roka ili nešto kasnije, no to nikako ne bi smjelo uslijediti kasnije od 5% vremena, računajući od posljednjeg planskog popravka. Ako se radi o našem primjeru srednjeg popravka, to ne znači 5% vremena od ciklusa srednjeg popravka, nego 5% vremena od malog popravka jer taj prethodi srednjem popravku.

Isto tako treba uzeti u obzir raspoložive kapacitete radionica i mogućnosti osoblja iz službe održavanja.

Da bi se radovi na strojevima mogli uredno planirati i pratiti, potrebno je stvoriti određenu dokumentaciju. Glavni dokument stroja je strojna karta ⑧.

Strojna karta broj				Stroj				Inventarski broj	Godina proizvodnje
Proizvođač			Tip		Tvorničnički broj	Nabavljen		Radno mjesto	
Ciklus pregleda i popravaka		Dimenzije stroja		Potrošnja		Fotografija ili skica stroja			
		Visina		Voda					
		Dužina		Para					
MP		Širina		Plin					
SP		Težina		Komprim. zrak					
GP		Površina		Električna energija					
Priključeni elektromotori									
Inventarski br.									
Tvornički broj									
Proizvođač									
Izvedba									
Vrst struje									
Snaga u kW									
Broj okreta									
Struja A									
cos φ									
Datum									

Rezervni dijelovi

Oznaka	Poz.	Naziv	Zaliha	Ima	Oznaka	Poz.	Naziv	Zaliha	Ima	Oznaka	Poz.	Naziv	Zaliha	Ima

⑧ Strojna karta

Na strojnoj karti nalaze se svi podaci koji karakteriziraju stroj te podaci o svim priključnim uređajima, o rezervnim dijelovima i o ciklusima popravaka. Poleđina strojne karte obično služi za evidenciju radova koji su izvršeni na stroju.

Osim strojne karte za svaki stroj uspostavljaju se i kartice planskih popravaka pomoću kojih se planiraju mali, srednji i generalni popravci. Ako je stroj sastavljen od niza kompliciranih sklopova, takve se kartice ispunjavaju za svaki sklop stroja ⑨.

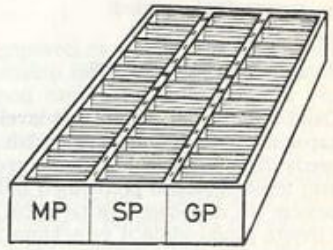
Stroj	Inventarski broj		Radno mjesto	MP
Skop	Ciklus	Trajanje	Datum	

Opis posla	Vrijeme	Rezervni dijelovi			
		Oznaka	Br. kom	Zaliha	Primjedba

⑨ Kartice planskih popravaka

Za svaki od navedenih popravaka odrede se kartice posebne boje. U gornjem dijelu kartice nalaze se podaci o stroju i oznaka za koju vrstu popravaka kartica služi. MP na ⑨ znači da je to kartica malih popravaka. U donjem dijelu kartice navedeni su potrebni rezervni dijelovi za obavljanje popravaka. Poleđina kartice služi za evidenciju o izvršenim popravcima. Te kartice se zatim slažu u posebnu kutiju ⑩.

Kao što se iz ⑩ vidi, kutija je po širini razdijeljena na tri polja. Svako polje nosi oznaku planskog popravka i u nj se ulažu kartice s tom oznakom. Po dužini su polja podijeljena na dvanaest glavnih dijelova pomoću pregradnih stijena, a svaki glavni dio na tri manja dijela pomoću pregradnih štapića. Glavni dijelovi predstavljaju mjesece u godini, a pregrade tih dijelova dekade u mjesecu. Kartice se prema planiranim ciklusima popravaka ulažu u određene pregrade. Prilikom planiranja planskih radova one se slažu u pregrade tako da suma potrebnog vremena za sve kartice u redu jednog mjeseca bude približno ista jer će to omogućiti pravilno i jednoliko opterećenje osoblja i radionica u održavanju.



⑩ Kutija za odlaganje kartica planskih popravaka

Referent koji vodi takvu kartoteku mora prije nastupa svake dekade u mjesecu ustanoviti koji se sve popravci i na kojim strojevima imaju izvršiti te provjeriti da li se oni s obzirom na mogućnosti proizvodnje i radionica mogu izvršiti. Zatim mora provjeriti da li se svi potrebni rezervni dijelovi nalaze na zalihi. Ako je sve u redu, daje se nalog za popravak.

Nakon završetka popravka upisuju se dobiveni podaci u odgovarajuću karticu, koja se stavlja u onu pregradu u koju spada prema ciklusu popravaka za taj stroj. U slučaju ako se na stroju dogodio izvanredan kvar te ako su prilikom uklanjanja toga kvara izmijenjeni dijelovi koji se inače mijenjaju na jednom od planskih popravaka, kartica se shodno tome mora također staviti na novo mjesto.

Osim rezervnih dijelova za popravke potrebno je planirati i razne materijale čija potreba se ne može striktno odrediti prema nekom stroju ili uređaju. Za planiranje takvih materijala možemo se poslužiti jednom od metoda koje smo opisali u 42. poglavlju ove knjige — »Priprema rada« (planiranje materijala). Prije donošenja odluke o načinu planiranja potrebno je izvršiti popis svih dosad upotrijebljenih materijala i razvrstati ih prema njihovoj vrijednosti, a zatim odabrati za pojedine skupine jedan od sistema (vidi poglavlje 42.2).

44.5 PLANIRANJE I ODREĐIVANJE ROKOVA ZA RADOVE U RADIONICAMA ODRŽAVANJA

Planiranje radova održavanja može se podijeliti na dugoročno i na kratkoročno. Dugoročno planiranje obuhvaća izradu godišnjih, polugodišnjih i tromjesečnih planova, a kratkoročno tjedne i dnevne planove radionica. Planiranjem radova u radionicama održavanja bavi se obično operativna priprema službe održavanja.

Dugoročno planiranje

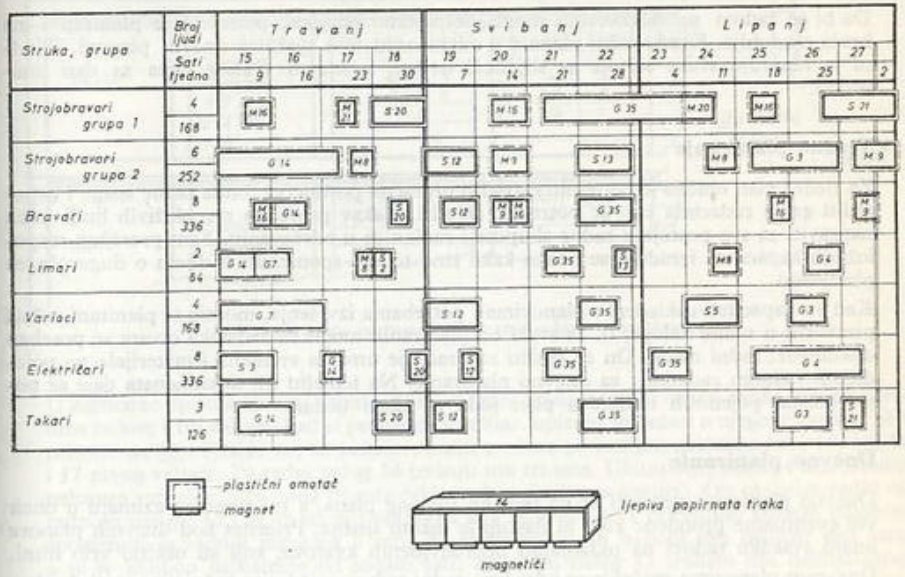
Dugoročno planiranje sadržava određivanje i usklađivanje potreba za određenim radovima s raspoloživim sredstvima i ljudima u određenom vremenu. To planiranje je vrlo slično planiranju proizvodnje opisanom u poglavlju 42.4, ali ima ipak neke svoje specifičnosti. Preduvjet za uspješno dugoročno planiranje je uredno razrađena i vođena osnovna dokumentacija održavanja, koja je opisana u prethodnim poglavljima. Na temelju te dokumentacije možemo ustanoviti koliko nam je potrebno vremena i sredstava za pojedine planske radove. To su:

- preventivni pregledi
- planski popravci
- podmazivanje strojeva.

Osim kapaciteta potrebnih za izvršenje planskih radova nužno je odrediti i odgovarajuće kapacitete za izvršenje neplanskih radova, kao što su hitne intervencije, uklanjanje nepredvidivih kvarova i ostali nepredvidivi radovi. Budući da je zbog karaktera tih radova vrlo teško egzaktno predvidjeti njihovu količinu i trajanje, služimo se statističkim praćenjem tih događaja. Na taj način, tj. na temelju statističkog praćenja, a uzevši u obzir i uvjete proizvodnje u proteklom razdoblju, procjenjujemo koliki su kapaciteti potrebni u pojedinim radionicama održavanja. Nakon toga potrebno je utvrditi i raspoložive kapacitete, a to se čini na taj način da se izračunaju teoretski mogući kapaciteti ljudi i strojeva za određeno razdoblje i od njih odbiju mogući gubici. Za ljude su mogući ovi gubici: godišnji odmori, bolovanja, državni praznici, opravdani i neopravdani izlasci i izostanci s posla. Za strojeve to su: popravci i remonti, gubici zbog čišćenja i podmazivanja te gubici uslijed nedolaska na posao onih radnika koji poslužuju određeni stroj. Veličina svih tih gubitaka procjenjuje se na temelju statističkog praćenja spomenutih događaja u proteklom razdoblju.

Za vremensku raspodjelu radova (popravaka) možemo se poslužiti nekom od mehaničkih planskih ploča ili gantogramom ⓘ.

Na ⓘ prikazana planska ploča služi za grubo planiranje radova na planskim popravcima u održavanju. Ta planska ploča sastoji se od limene ravne ploče (čelični lim). Na nju se položi list papira na kojem je nacrtan željeni gantogram. Na ovaj se zatim postavljaju mali magnetići određene boje. Ti mali magnetići, izrađeni u raznim bojama, imaju najčešće dva oblika: četvrtasti i kružni. Četvrtasti magnetići obično služe da se odredi vrijeme koliko će trajati pojedini popravak, a kružni za oznaku onog popravka koji je izvršen.



ⓘ Terminiranje i praćenje radova u održavanju (magnet plan)

U prikazanom primjeru na ⓘ planirani su planski popravci za jedno tromjesečje prema postojećim radnim skupinama u održavanju. Horizontalno su naneseni mjeseci, odnosno tjedni planskog razdoblja. Broj u drugom redu ispod oznake mjeseca označava redni broj tjedna u godini, a broj ispod njega, tj. u trećem redu, datum subote u tjednu. Po vertikali dijagrama navedene su radne skupine i broj ljudi u njima.

Samo planiranje provodi se tako da se na temelju dokumentacije o planskim popravcima ustanovi kad se na kojem stroju ima izvršiti neki planski popravak. Zatim se utvrdi tko sve mora raditi na tom planskom popravku i koje vrijeme je potrebno za te radove. Ti podaci se zatim unose u dijagram, i to tako da se uzmu magnetići izabrane boje (npr. za male popravke plavi) pa se u tjedan kad je potrebno izvršiti određeni popravak u horizontalu odgovarajuće skupine ljudi umetne toliko magnetića koliko je potrebno da se dobije dužina trajanja toga popravka. Na te magnetiće upiše se zatim broj stroja. U našem primjeru je boja magnetića označena slovom. Slova imaju slijedeće značenje: M — mali popravak, S — srednji popravak i G — generalni popravak. Uzmimo, na primjer iz dijagrama G 14, koji se proteže kroz 15, 16. i dio 17. tjedna, u horizontali strojobravara skupinu 2. To znači da će strojobravari skupine 2 biti u te tjedne zauzeti generalnim popravkom stroja ili uređaja broj 14. Na tom stroju, kako možemo zaključiti

iz dijagrama, neće raditi samo strojobravari skupine 2 nego još i bravari u 16. tjednu, limari u 15. tjednu, električari u 17. tjednu i tokari u 15. i 16. tjednu. Čim je neki od tih poslova dovršen, na posljednji četvrtasti magnetić toga posla stavi se kružni magnetić. Slobodan prostor između magnetića označava vrijeme koje će se utrošiti za preventivne preglede i nepredvidive radove.

Takva ploča je, osobito pogodna za planiranje radova na održavanju zato što termini tih radova nisu nikada čvrsti pa ih često treba pomicati, a to na takvoj ploči ne znači nikakav problem.

Kratkoročno planiranje

Da bi se radovi na održavanju mogli nesmetano odvijati, potrebno je planirati i na kraća razdoblja. Kratkoročni planovi u održavanju jesu tjedni i dnevni planovi. Tjedni se izrađuju svake subote za slijedeći tjedan, a dnevni svakog dana za dan unaprijed.

Tjedno planiranje

Za tjedni plan obično je potrebno razraditi proračun postojećeg fonda radne snage i usporediti ga sa zadacima koje je potrebno izvršiti. Takav proračun raspoloživih ljudi treba napraviti za sve postojeće radne skupine i radionice u održavanju. Sam proračun raspoloživih kapaciteta izrađuje se onako kako smo to već spomenuli u dijelu o dugoročnom planiranju.

Kad su kapaciteti usklađeni s planovima i potrebama izvršenja, moraju se planirani zadaci pretvoriti u radne naloge, tj. za svaki od planiranih mogućih zadataka otvara se poseban dokument: radni nalog. On će služiti za praćenje utroška vremena i materijala po pojedinom radnom zadatku i za dnevno planiranje. Na temelju tih dokumenata daje se poslovođama pojedinih radionica plan rada za idući tjedan.

Dnevno planiranje

Dnevno planiranje provodi se na temelju tjednog plana, a pri tome se uzimaju u obzir sve eventualne promjene koje bi nastupile tokom tjedna. Prioritet kod dnevnih planova imaju svakako radovi na uklanjanju nepredviđenih kvarova, koji su obično vrlo hitni.

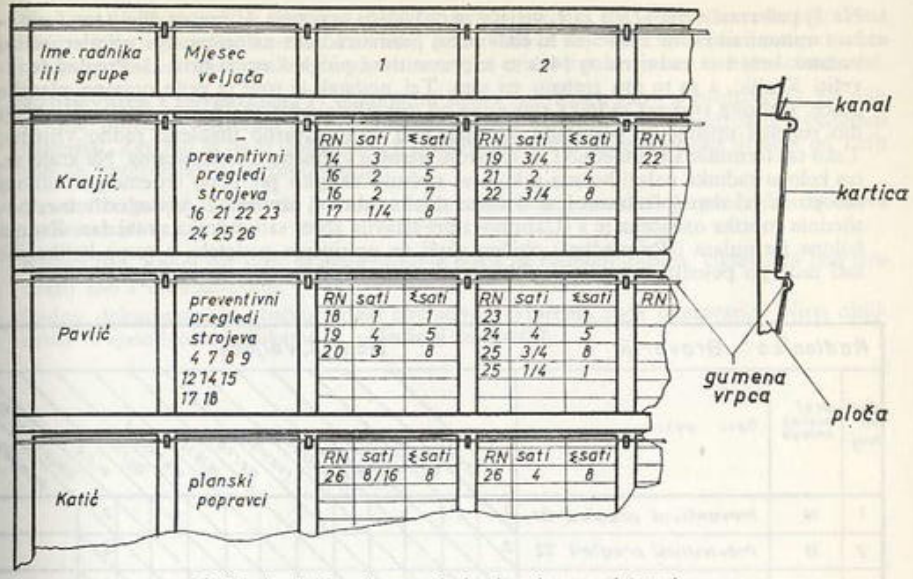
Dnevnim planovima najčešće se određuju radni zadaci pojedinim radnicima, a rjeđe skupinama radnika.

Za dnevno planiranje u održavanju veoma je prikladna planska ploča, prikazana na ⑫. Ta je ploča metalna ili drvena i na njoj se nalaze utori. U ove se umeću kartice u koje se upisuju radni zadaci prema radnim nalozima. Da kartice ne bi ispadale s ploče, one su pritegnute gumenom vrpcom. U njih se sve zabilješke upisuju na samoj ploči olovkom.

Kao što se iz slike vidi, u prvu kolonu ploče umeću se kartice s imenima radnika, odnosno skupina. Ako se radi o skupini ljudi, obično se navede samo ime njezina rukovodioca (predradnika ili brigadira), te broj ljudi, odnosno broj raspoloživih sati dnevno.

U drugu kolonu umeću se kartice s opisom radova koje obično obavlja taj radnik ili ta skupina. U prikazanom primjeru radnik Kraljić ima dužnost da planski pregledava strojeve broj 16, 21, 22, 23, 24, 25 i 26.

U daljnje kolone umeću se kartice u koje se upisuje broj sati potrebnih za izvršenje pojedinog zadatka. Te kartice imaju po tri kolone. U prvu se upisuje broj radnog naloga, u drugu broj sati koji će se utrošiti za radove po tom radnom nalogu toga dana, a u treću kolonu upisuje se koliko je sati s tim nalogom i prijašnjim nalozima na kartici radnik zauzet tog dana. Suma svih tih sati ne smije premašiti raspoloživo vrijeme toga radnika za taj dan. Za svaki pojedini dan svaki radnik ima odgovarajuću karticu. Na ploči se mogu nalaziti kartice ili za jedan tjedan ili za jedan mjesec. Jedna vertikala kartica na ploči označuje jedan dan.



⑫ Planska ploča za dnevno planiranje radova u održavanju

U kartice se upisuje na ovaj način: uzmu se radni nalozi i utvrdi se tko može izvršiti pojedine radove s tih naloga; kad je pronađen izvršilac, upisuju se zadaci u njegove kartice (vidi primjer na ⑫). Kraljić će, na primjer, raditi poslove po radnim nalozima broj 14, 15, 16 i 17 prvog veljače. Za radni nalog 14 trebaju mu tri sata. Ukupno je, dakle, s tim radnim nalogom zaposlen toga dana tri sata (vidi treću rubriku na kartici). On će zatim raditi na radnom nalogu 15 i za to su mu potrebna dva sata. S tim i s prijašnjim radnim nalogom spomenuti je radnik zaposlen 5 sati. Za radni nalog 16 trebaju mu također dva sata, a to je ukupno zaposlenje od sedam sati. Za radni nalog 17 trebaju mu daljnja četiri sata, ali on ima toga dana na raspolaganju samo još jedan sat do punog radnog vremena. Ako je priroda posla takva da se ovaj može prekinuti pa nastaviti drugi dan, kao što je to u našem slučaju, onda taj radni nalog upisujemo u karticu slijedećeg dana. Budući da će taj radnik prvi dan raditi samo jedan sat od potrebna četiri (po nalogu 17), označit ćemo to u rubrici sati na kartici sa 1/4, a analogno tome u kartici za drugi dan označavamo ostatak vremena od 3 sata sa 3/4. Ako se spomenuti posao ne bi mogao odgoditi za drugi dan, trebalo bi ga izvršiti u prekovremenom radu. U tom slučaju napisali bismo na kartici ponovo broj radnog naloga, zatim broj potrebnih sati po tom radnom nalogu i broj prekovremenih sati pa bismo ih zaokružili. Vidi na ⑫: radnik Pavlić, dan 2, radni nalog broj 25, broj sati 3/4 u redovitom radnom vremenu i isti radni nalog, ali 1/4 sata prekovremeno.

Svaki izvršeni zadatak zaokružuje se, odnosno potcrtava. Ako planirani sati ne odgovaraju izvršenim satima, planirani se prekriže i kraj njih se upišu stvarno izvršeni sati. Otpadne li pak neki zadatak, on se jednostavno precrta na kartici, a preostalo vrijeme rasporedi se na druge zadatke.

Prilikom sastavljanja takvih planova planer se mora konsultirati s poslovođama pojedinih radionica.

Pošto je izvršeno takvo planiranje na planskoj ploči, potrebno je pojedinim radionicama dostaviti plan rada za slijedeći dan. Plan rada za taj slijedeći dan zgodno je sastaviti na formularu ⑬.

Na ⑬ prikazan je plan rada za 1. veljače za radionicu bravarija. U prvom dijelu tog formulara upisani su radni zadaci za tu radionicu, prema radnim nalozima. Na primjer, radni zadatak broj 1 je radni nalog 14, a to je preventivni pregled stroja broj 21. Pregled će izvršiti Kraljić, a za to mu trebaju tri sata. Taj podatak je uzet iz prije opisane planske ploče. Rubrike svakoga radnika sastoje se od dva dijela odvojena kosom crtom. U gornji dio rubrike upisuje se planirano vrijeme, a u donji stvarno utrošeno radno vrijeme. Tako taj formular služi ujedno i za kontrolu utroška vremena u radionicama. Na kraju se, iza kolone radnika nalazi kolona u koju se upisuje ukupno potrebno vrijeme po radnom nalogu za taj dan (planirano i, u donjem dijelu rubrike, izvršeno). Analogno tome, posljednja rubrika označena je s »Ukupno« i predstavlja zbroj sati radnika za taj dan. Zadnja kolona formulara (»Primjedba«) obično služi za upisivanje podataka o tome koliko još sati rada po pojedinom radnom nalogu preostaje i kad se ti radovi imaju nastaviti.

Radionica: Bravarija — *Dan 1. veljače*

Redni broj	Broj radnog naloga	Opis posla	Kraljić	Pavlić	Katić	Matić	Petrović	Ivanić	Horvat	Mikić	Marković	Đurić	Milić	Ukupno po Rn	Primjedba
1	14	Preventivni pregled 21	3 /										3 /		
2	15	Preventivni pregled 22	2 /										2 /		
3	16	Preventivni pregled 24	2 /										1 /		
4	14	Preventivni pregled 26	1 /										1 /		još 4 8.11
5	18	Preventivni pregled 8	/ 1										1 /		
6	19	Preventivni pregled 14	/ 4										4 /		
7	20	Preventivni pregled 15	/ 3										3 /		
8	26	Popravak stroja 3, MP	/		8 /								8 /		još 8 2.11
9	27	Popravak stroja 25 SP	/			8 /	8 /	8 /					24 /		još 24
10	29	Popravak stroja 18 GP	/					8 /	8 /	8 /			24 /		još 52
11	30	Izrada naprave	/								8 /	8 /	16 /		
Ukupno			8 /	8 /	8 /	8 /	8 /	8 /	8 /	8 /	8 /	8 /	8 /	/	

⑬ Dnevni plan radionice

44.6 IZRADA I LANSIRANJE RADNE DOKUMENTACIJE

Svi radovi na održavanju obavljaju se na temelju radne dokumentacije. Svrha je i zadatak te dokumentacije u održavanju uglavnom ista kao i u proizvodnji, tj. da se evidentira i prati tok rada, odnosno obračunava utrošak materijala i vremena.

Najčešći radni dokumenti u održavanju jesu:

Narudžba rada. Taj dokumenat se ispostavlja onda kad netko traži intervenciju službe održavanja.

Radni nalog. Radni nalog se ispostavlja na temelju narudžbe rada kad se utvrde svi radovi koje služba održavanja treba da izvrši prema toj narudžbi. Radni nalozi se obično izdaju prema vrstama radova. Primjer: u narudžbi rada traži se popravak nekog uređaja.

Na temelju te narudžbe izvrši se defektacija tog uređaja pa se utvrde vrsta i količina radova koje je potrebno izvršiti. Za svaku vrstu radova koje radi specijalizirana radionica izdaje se poseban radni nalog. U njemu se zatim evidentira sav posao i utrošeni materijal.

Zahtjevnica i povratnica. Ti dokumenti imaju istu ulogu kao i u proizvodnji. Na njih se diže potreban materijal prema radnom nalogu, odnosno vraća neutrošeni podignuti materijal. Zgodno je da ti dokumenti u održavanju budu drugog oblika ili boje od onih koji se upotrebljavaju u proizvodnji.

Pretkalkulacija. To je vrlo čest dokument u održavanju, a služi za predračun troškova za veće radove.

Radni list. Radni list služi za evidentiranje posla na radnom mjestu. Uglavnom ima istu ulogu kao i u proizvodnji.

Radnu dokumentaciju obično izdaje operativna priprema rada održavanja. Njen oblik zavisi o specifičnim prilikama u pojedinoj industriji.

DOMAINKO Dragutin, dipl. inženjer tehnologije

ZAŠTITA PRI RADU

45.1 OPĆI PREGLED ZAŠTITE 1122
Svrha i zadaci — Čovjek i rad — Ekonomski gubici zbog oštećenja ljudskog organizma pri radu

45.2 ZAŠTITNE MJERE PRI RADU 1126
Projektiranje zaštite — Građevni uređaji — Opća načela kod oruđa za rad — Zaštitne mjere kod strojeva za obradu drveta i sličnih materijala, strojeva za obradu metala — Mjere za zaštitu od električne struje — Zaštitne mjere pri radu s ostalim strojevima, ručnim alatom i pomoćnim sredstvima — Zaštitne mjere kod transportnih uređaja, pri radu s jetkim i otrovnim tvarima

45.3 ORGANIZACIJA PROVEDBE SIGURNOSNIH MJERA PRI RADU . . 1136

Literatura

Bandalović A.: Zaštitne mjere pri obradi metala, Zagreb 1960.

Bandalović A.: Parni kotlovi i parni sudovi pod pritiskom, Zagreb 1965.

BIT.: Die Verhütung von Unfallen an Holzbearbeitungsmaschinen in Grossbritanien und in der Schweiz, Genf 1925.

Bleichert W.: Betriebsschutz, Berlin 1946.

Bujas Z.: Psihofiziologija rada, Zagreb 1959.

Delak N.: Osnovni principi sigurnosti pri radu na strojevima, Zagreb 1965.

Delak N.: Sigurnost pri radu na strojevima za obradu drva, Zagreb 1965.

Delak N.: Sigurnost pri radu na strojevima za obradu metala, Zagreb 1965.

Domainko D.: Ekonomika i organizacija proizvodnje industrijskih poduzeća, III izdanje, Zagreb 1965.

Ente nazionale di propaganda per la prevenzione degli infortuni, La sicurezza della lavorazione del legno, Milano 1933.

Krilov A. D.: Tehnika bezopasnosti v tekstiljnom proizvodstve, Moskva 1947.

Majica M.: Priručnik o HTZ mjerama pri radu na obradi drveta, Zagreb 1965.

Martius F.: Betriebsgefahren in der chemischen Industrie, Berlin 1939.

Opšti pravilnik o higijenskim i tehničkim zaštitnim merama pri radu, Beograd 1948.

Osnovni zakon o zaštiti pri radu, Zagreb 1965.

Piškurić O.: Rasvjeta u industriji, Zagreb 1965.

Poljanić N.: Zaštitna tehnika u drvnoj industriji, Zagreb 1952.

45 ZAŠTITA PRI RADU

45.1 OPĆI PREGLED ZAŠTITE

45.11 SVRHA I ZADACI ZAŠTITE PRI RADU

Rad je kretanje, gibanje, svrsishodna djelatnost čovjeka, usmjerena na stvaranje upotrebnih vrijednosti. Pri tom je ljudski organizam neprekidno izvrgnut raznim opasnostima od bolesti i nesretnih slučajeva. Zbog toga treba proučavati povode i uzroke povreda i zdravstvenih oštećenja radnih ljudi te stvoriti potrebne uvjete za rad i primijeniti suvremene tehničke, zdravstvene, socijalne i druge mjere da se spriječe i uklone oštećenja ljudskog organizma pri radu.

U svrhu zaštite radnih ljudi na radu objavljen je Osnovni zakon o zaštiti na radu (Službeni list SFRJ broj 15 od 5. travnja 1965). Osim toga u našoj je zemlji od oslobođenja do danas objavljeno više od 40 pravilnika, naredbi, uputstva i sličnih propisa o zaštitnim mjerama pri radu, koji prestaju vrijediti ako su u suprotnosti s novim zakonom iz godine 1965. Zakon ima IX glava. Njihovi su naslovi: I. Opće odredbe, II. Osnovne mjere i normativi zaštite na radu, III. Obaveze organizacija, IV. Prava i obaveze osoba na radu, V. Ustanove za unapredivanje zaštite na radu, VI. Evidencija, VII. Nadzor, VIII. Kaznene odredbe i IX. Prijelazne i završne odredbe.

Mjere i normative zaštite na radu dijeli zakon na osnovne, opće i posebne. **Osnovne** mjere i normativi zaštite na radu obuhvaćaju opće i posebne zaštitne mjere i normative, kao i ostale mjere zaštite koje utječu na stvaranje sigurnih uvjeta rada. **Opće** mjere i normativi zaštite na radu određuju se po pravilu za sva radna mjesta, odnosno za poslove gdje se nalaze osobe na radu ako za određene poslove ili za uvjete rada nisu predviđene posebne mjere i normativi zaštite na radu. **Posebne** mjere i normativi zaštite na radu određuju se za posebne vrste poslova i kad se, zbog specifičnih opasnosti i štetnosti, zaštita ne osigurava općim zaštitnim mjerama i normativima.

Jedan od najvažnijih pravilnika koji je ostao na snazi jest opći pravilnik o higijenskim i tehničkim zaštitnim mjerama pri radu (Službeni list FNRJ broj 16/47. i 36/50). U specijalnim pak pravilnicima propisuju se posebne zaštitne mjere kao, na primjer, za rad poljoprivrednim strojevima, za zaštitu od električne struje, pri radu na preradi i obradi metala, pri mehaničkoj preradi i obradi drveta i sličnih materijala, pri radu na eksploataciji šuma i dr.

Objekti proučavanja zaštite rada jesu:

1 — radni i proizvodni procesi, 2 — sirovine, materijal i proizvodi, 3 — fiziološke promjene za vrijeme rada, 4 — vanjski uvjeti, 5 — uređaji, 6 — organizacija rada.

Profesionalna oštećenja mogu se (prema Letavetu) klasificirati ovako:

A — u vezi s nepravilnom organizacijom rada: prekomjerno trajanje rada, prekomjerna intenzivnost rada, neracionalan režim rada, trajan prisilan jednoličan položaj tijela.

B — u vezi s proizvodnim procesom — fizički faktori: 1 — nepovoljni meteorološki uvjeti, kao nenormalna temperatura zraka, isijavanje topline, prekomjerna ili nedovoljna vlaga zraka, nedovoljna kombinacija temperature, toplinskog isijavanja, vlažnosti i gibanja zraka; 2 — kratkovalno i visinsko isijavanje: ultravioletno, rendgensko, radioaktivno, prejaki izvori svjetla; 3 — nenormalan atmosferski pritisak, povišen ili snižen; 4 — buka i trešnja, kemijski i fizikalno-kemijski faktori: toksične tvari, prašine u proizvodnji; biološki faktori: infekcije, bolesne životinje.

C — nedostaci općih sanitarnih uvjeta: nedovoljna kubatura, defekti pri grijanju, u rasvjeti, pri održavanju postrojenja i sl.

Glavne skupine uzroka nezgoda pri radu mogli bismo sistematizirati ovako:

1 — nepravilna organizacija rada i radnog mjesta uopće i nepravilna biološka organizacija rada (trajanje rada, intenzivnost, položaj tijela, radne kretnje, temperatura, vlaga, svjetlo, ventilacija, buka i sl.).
2 — toksičan materijal, utjecaj kemijskih faktora u materijalu, prašina, infekcija
3 — neispravno stanje građevnih uređaja uopće i radionica (nedovoljna prostornost, prostranost, prolazi, stube, pristupi radnim mjestima, neravni podovi itd.)
4 — nepostojanje i neusavršenost ograda, zaštitnih naprava i uređaja za zaštitu
5 — neusavršeni strojevi i alat, loše stanje strojeva, alata i pribora za rad
6 — nedovoljno poznavanje mehanizama, alata i uređaja od strane radnika, neznanje pri upravljanju mehanizmom i poremećaj (narušavanje) tehnološkog procesa
7 — nepoznavanje propisa tehničke zaštite, potcjenjivanje opasnosti od strane radnika
8 — neispravnost zaštitne odjeće, obuće i uopće osobne opreme.

Pokazalo se da je većina uzroka organizacijsko-tehničke prirode i da samo 25% nezgoda otpada na neuvedenost i nedovoljnost zaštitnih naprava, a 75% nezgoda ovisi o ljudima, dakle bilo o organizaciji rada, bilo o nepoznavanju zaštitnih mjera. To pak znači nedovoljnu kvalifikaciju radnika za određenu radnu operaciju, odnosno nepridržavanje načela »pravi čovjek na pravom mjestu«. Kao izvori nezgoda razumijevaju se npr. parni kotlovi, transmisije, brusovi, električna struja, kemikalije, alat, razni strojevi itd.

S obzirom na to ti se uzroci obično dalje raščlanjuju i posebno ispituju. Kao primjer navodimo napose osobne faktore kako se oni analiziraju u nekim našim poduzećima:

— nedostatak sposobnosti ili profesionalne spremnosti; npr. radnik ne poznaje opasnosti, nema dovoljno vještine, ne zna prosuditi udaljenost u prostoru
— kršenje radne discipline, prilaz nedopuštenim mjestima, skidanje zaštitnih naprava, nepokoravanje zaštitnim mjerama itd.
— fizičke ili psihološke mane, karakterne osobine (npr. defektan vid, visok krvni tlak, staračka istrošenost, kila, duševna zaostalost, želja za isticanjem, plašljivost)
— akutne ili kronične bolesti ili povremeno poremećenje funkcija organa (gripa, reuma, menzes i dr.)
— umor zbog predugog radnog vremena (ne održavaju se odmori ili su prekratki), prebrz tempo rada
— osobni stav radnika prema poslu u poduzeću (ne zanima ga ili nema volje za stanovit posao, zazire od njega)
— umor zbog dolaska na rad i odlaska s rada (dugo pješačenje, duga vožnja biciklom, vlakom)
— umor zbog nedovoljnog odmora u slobodno vrijeme (rad izvan poduzeća na polju, u radionicama, u kućanstvu, loše stambene prilike, pijančevanje i dr).
— briga zbog ekonomskog stanja (npr. dugovi, bolest u kući i druge brige)
— uzbuđenje (npr. zbog nedrugarskih odnosa ili zbog razmirica u poduzeću ili izvan njega, zbog ugodnih doživljaja itd.).

45.12 ČOVJEK I RAD

Ako pazimo i čuvamo materijal, stroj, zgrade i proizvode, to više moramo čuvati čovjeka i njegovu energiju. Nekad se mislilo da je i naš organizam neki toplinski, termodinamički stroj, tj. da se u njemu, kao i u ostalim toplinskim strojevima, toplinska energija pretvara u mehaničku. Danas znamo da je naš organizam u stvari »kombinat«, koji se sastoji od više međusobno povezanih kemijskih »tvornica«. Tom zgodom nastaje energija, i to kemijska, koja se pretvara u našu mehaničku energiju, a uz to nastaje i toplina kao spo-

redan proizvod. I kao što radnik mora dobro poznavati materijal i tvornički uređaj, mora bar toliko znati i o samome sebi, o primjeni i utrošku svoje vlastite energije i o pojavama u svom organizmu kad radi. Nauke koje se bave proučavanjem tih pojava zovu se fiziologija rada i psihologija rada.

Da bismo dobili što jasniju predodžbu o energetici ljudskog rada, moramo bar u glavnim crtama poznavati one dijelove psihofizičkog aparata, dakle organizma koji sudjeluju pri radu, a to su: centralni nervni sistem, periferni nervni sistem i mišići.

Centralni nervni sistem sastoji se od mozga i moždanog debla u lubanji te ledne moždine u kralješnici. Tu je i izvor, impuls svake djelatnosti. Centralni aparat mozga u lubanji je sjedište svijesti, mišljenja, volje. Svrsishodnost čovječjeg rada zavisi u velikoj mjeri od savršenosti nervnog sistema, koji je pozvan da određuje i koordinira djelatnost svih čovječjih organa. U vezi s tim sistemom jest i vegetativni (autonomni) živčani sistem, koji upravlja organima koji nisu podvrgnuti utjecaju naše volje. Taj sistem djeluje npr. pri napornom radu na krvne žile u organizmu, širi njihove stijenke, utječe, nadalje, na rad srca, ubrzava krvni tok itd., a prema novijim istraživanjima ima veliku ulogu pri radu, osobito u borbi s umorom.

Periferni nervni sistem sastoji se od nerava koji izlaze iz centralnog nervnog sistema i granaju se po cijelom tijelu. Oni su vodiči, kroz koje prolaze voljni i refleksni impulsi od mozga do mišića. Vrlo su osjetljivi.

Mišići su glavni izvršni aparat organizma. Njihova funkcija može biti reflektorna ili voljna. Sa stanovišta rada najveću pažnju moramo obratiti baš mišićima i nastojati da ih racionalno upotrebljavamo, da se pronađe ona najveća, najpovoljnija (optimalna) brzina i opterećenje rada kako bi čovjek mogao što duže raditi bez štete po zdravlje.

Pri tom je osobito važno nastojanje da se radnik pri radu što kasnije i što manje umori. Kad govorimo o umoru, moramo razlikovati dvije pojave, i to zamaranje i umor. Zamaranje je skup procesa u organizmu koji nastaju kao rezultat trajnijeg napornog rada i koji izazivaju smanjenje radne sposobnosti. To je, nadalje, objektivno fiziološko stanje čovjeka u čijem organizmu je poremećena ravnoteža. Umor je subjektivno osjećanje, koje obično prati zamaranje, a čovjek ga osjeća i svjestan ga je. Radnik osjeća umor pošto je već u organizmu nastupilo zamaranje, dakle umor je subjektivna manifestacija jedne činjenice u organizmu, to jest zamaranja. Zamaranje, odnosno umor, jedan je od najvažnijih uzroka tjelesnih oštećenja uopće i povreda pri radu napose. Zbog toga je veoma važno da se utvrdi koji i kakvi se zahtjevi postavljaju na svako radno mjesto uopće i u pogledu fizičkog i umnog napora napose. Da bi se te okolnosti ustanovile, služimo se analitičkom procjenom radnih mjesta, putem koje ocjenjujemo za svako radno mjesto potrebno znanje i sposobnosti, odgovornost, napor i uvjete rada (opasnost od prehlade, od nesretnih slučajeva, vode, vlage, kiseline, prljavštine i prašine, plinova, pare, neugodnog mirisa, buke i potresa, blještavosti, nedostatak svjetla i sl.) uz normalan intenzitet i učinak rada. Osim toga, utvrđuje se stanje stručnosti, zdravlja, karaktera i sklonosti svakog pojedinog radnika metodom procjene osobe pa se na taj način u najvećoj mjeri može odrediti pravi čovjek na pravom mjestu i time se mogu spriječiti tjelesna oštećenja pri radu.

45.13 EKONOMSKI GUBICI OŠTEĆENJA LJUDSKOG ORGANIZMA PRI RADU

Štete koje nastaju zbog oštećenja pri radu vrlo su velike i raznolike. Ekonomske gubitke snosi unesrećeni, odnosno oštećeni radnik, privredna organizacija i komuna u kojoj unesrećeni radi i šira zajednica (cijelo društvo). Trebalo bi što realnije izračunati te ekonomske gubitke. Oni se odrazuju u obliku direktnih izdataka (mogu se naći u knjigovodstvu privrednih organizacija, zdravstvenih ustanova, socijalnog osiguranja, osiguravajućeg zavoda i dr.) i indirektnih gubitaka (izdaci i gubici koji su nastali kao posljedica nesreća na radu, ali kao takvi nisu nigdje izričito prikazani, nego su skriveni u različitim stavkama i mjestima pa ih je praktički teško prikupiti).

Analiza izdataka i gubitaka koji nastaju zbog nesreća na radu sastoji se u određivanju:

- gubitaka u osobnom dohotku povrijeđenog i njegove obitelji
- naknade zbog gubitka radnog vremena povrijeđenog
- izdataka za liječenje, za profesionalnu rehabilitaciju
- naknade izdataka zbog privremeno smanjene radne sposobnosti nakon ponovnog vraćanja povrijeđenog na posao

izdataka:

- za naknade zbog nezaposlenosti do dana kad je radnik stupio na odgovarajući posao
- za tjelesno oštećenje
- za trajnu i potpunu nesposobnost za rad
- za obiteljsku mirovinu
- za osiguravajući zavod
- za preuzete obveze gubitaka na vremenu drugih radnika
- za neproizvodne radne sate, za prekovremene sate

u pogledu:

- gubitaka uslijed materijalne štete na sredstvima za proizvodnju
- doprinosa osiguravajućem društvu
- dodatnih doprinosa za socijalno osiguranje
- odšteta po presudama sudova, raznih izdataka zbog sudskih postupaka
- konvencionalnih kazni zbog izmaklog roka isporuke
- deficita u fondu
- ostalih gubitaka, naknada i izdataka
- gubitaka u bruto-proizvodu i u poslovanju.

Za radnu organizaciju je, između ostalog, vrlo važno da ustanovi gubitak u bruto-proizvodu. Ovaj bi se mogao izračunati tako da se utvrdi vrijednost bruto-proizvoda za jedan dan (ili sat), a nakon toga broj izgubljenih radnih dana (ili sati) zbog povreda na radu. Pri tom treba uzeti u obzir stvarno izgubljene dane (ili sate) i izgubljene dane (ili sate) dobivene na temelju vremenskog terećenja. Vrijednost bruto-proizvoda za jedan dan (ili sat) množi se izgubljenim radnim danima (ili satima) pa se dobivena suma upisuje kao gubitak u bruto-proizvodu. Gubici u poslovanju nastaju uslijed gubitka u dohotku i posebno u osobnim dohocima.

Kao primjer ekonomskih gubitaka navodimo rezultate analize vremenskih i ostalih gubitaka u manjim i srednjim industrijskim poduzećima (prema E. Anthony: »Management Aids for Small Business«, Washington, 1955) zbog nesretnih slučajeva:

1 — vrijeme koje gubi ozlijeđeni radnik

2 — vrijeme koje gube njegovi drugovi jer su prekinuli rad kad je on bio povrijeđen:
   - a — da bi mu pružili pomoć
   - b — iz prijateljske naklonosti i radoznalosti
   - c — iz nekih drugih razloga u vezi s nesretnim slučajem

3 — vrijeme koje gube predradnici i rukovodioci:
   - a — pružanjem pomoći povrijeđenom
   - b — istraživanjem uzroka i pripremanjem izvještaja o nesreći
   - c — poduzimanjem potrebnih mjera da se prekinuti posao nastavi
   - d — izborom nove osobe i njenim poučavanjem za taj rad
   - e — u teškom ili spornom slučaju očekivanjem rezultata saslušavanja

4 — gubitak proizvodnje ili šteta na proizvodu ili materijalu zbog toga što je pažnja radnika odvraćena od rada ili je potpuno zaokupljena nesretnim slučajem

5 — gubitak prouzročen obustavom rada stroja na kojem je ozlijeđeni radio ili prekidom lančanog procesa u kojem je taj radnik sudjelovao

6 — oštećenje stroja ili materijala kojim je ozlijeđeni radnik rukovao

7 — smanjenje radnog učinka ozlijeđenog radnika poslije vraćanja na posao

8 — sudskim izdacima u vezi s pripremom sudskog postupka, rješenjem spornog pitanja i konačnom odlukom kad je taj nesretni slučaj podvrgnut zakonskim odredbama.

Osim toga, na svaki dinar ukupnih izdataka za naknadu i liječenje dolaze oko četiri dinara indirektnih izdataka.

Da bi se uzroci oštećenja ljudskog organizma pri radu, kao i ekonomski gubici što realnije ustanovili, služimo se raznim metodama. Osnovna metoda je statistička. Po njoj se uzroci i povodi nezgoda grupiraju po povezanosti i određenim ključevima i pojavama pa se na temelju toga izračunavaju koeficijenti i stvaraju zaključci. Ti nam koeficijenti omogućuju da analiziramo događaje i da stvorimo zaključak. Tako, na primjer, treba utvrditi koeficijente:

— učestalosti nezgoda, odnosno profesionalnih bolesti prema broju zaposlenih radnika, prema količini stvarno odrađenih radnih sati i sl.

— težine nezgoda, usporedivši broj nezgoda s količinom izgubljenih kalendarskih dana;

— smrtnih slučajeva prema broju nezgoda i ostalih koeficijenta itd.

Osim toga proučava se broj nezgoda prema redoslijedu radnih sati i smjenama u kojima su se dogodile, ispituju se i kalendarski dani, godišnja doba i sl. te traže zakonitosti. Otkrivajući ih, možemo poduzeti mjere za uklanjanje uzroka. Prema krivuljama koje se na temelju tih ispitivanja izrađuju, vidimo, na primjer da se nezgode najčešće događaju u ponedjeljak, a najmanje u srijedu, pa onda rastu do subote. Nadalje, vidimo da broj nezgoda raste od prvog do četvrtog radnog sata, a nakon odmora pada, da je veći broj nezgoda noću i sl. Dakako, to ne znači da ti podaci moraju vrijediti za sve vrste poduzeća. Napose treba voditi statistiku i ispitivati karakter nezgoda prema industrijskim granama.

Osim toga, vodi se statistika i po pojedinim poduzećima, radnim mjestima, strojevima i radnim operacijama. Tim se pitanjima bavi monografska metoda. Ona ispituje i sve okolnosti pri kojima se dogodila nezgoda (kubatura radionice, svjetlo, ventilacija, tehnološki proces, organizacija, metode plaćanja itd.).

Vrlo su važna i zanimljiva ispitivanja tzv. lakih nezgoda. One se obično događaju u velikom broju (udarac po prstu, laka ozljeda oka i sl.). Radna nesposobnost traje samo nekoliko dana, ali takvih nezgoda ima velik broj, nastaju velike ekonomske, odnosno financijske štete za poduzeće i za socijalno osiguranje. Takva se oštećenja ispituju po skupnoj (grupnoj) metodi, i to tako da se analogni slučajevi grupiraju za duže razdoblje te traže izvori oštećenja i predlažu mjere.

Osim toga, primjenjuje se još i topografska metoda, koja ne proučava oštećenja po analogiji tipa oštećenja, nego po analogiji mjesta nezgode (oštećenja) npr. samo u nekoj skupini istih strojeva ili istih radnih operacija.

45.2 ZAŠTITNE MJERE PRI RADU

45.21 PROJEKTIRANJE ZAŠTITE PRI RADU

Zaštitne mjere pri radu treba predvidjeti već u ekonomsko-tehničkoj dokumentaciji, koja sadržava program investicija i projekte, što zajedno nazivamo investicijskim elaboratom. Bitni sastavni dio investicijskog elaborata čini lokacija tvornice i projekti. Pri lokaciji (smještaju) predviđaju se kao najvažniji faktori koji mogu utjecati na sigurnost pri radu: način transportiranja i transportne mogućnosti, mogućnost dobave potrebne

radne snage, položaj prema postojećem radničkom naselju, odnosno mogućnosti izgradnje radničkog naselja, voda za sanitarne svrhe, za piće i za gašenje požara, kanalizacija, opasnost od požara za okolinu, tlo u pogledu nosivosti, drenaže i stupnja vlage, podesnost klime za radništvo, vjetrovi i sl.

Projekt nam prikazuje zamisao crtežom nekog građevnog i strojnog objekta na papiru u određenom mjerilu. U projektima (idejni projekt, glavni projekt i izvođački projekt) treba predvidjeti sve ono što je u građevnom, strojnom, elektrotehničkom, sanitarnom i organizacijskom pogledu potrebno za zaštitu zdravlja i života radnika pri radu.

Osnovni zakon o zaštiti na radu napose naglašava da su organizacija, projektanti, odnosno investitori građevinskih objekata namijenjenih za radne prostorije dužni primijeniti, odnosno osigurati propisane mjere i normative zaštite na radu.

45.22 GRAĐEVNI UREĐAJI

Za sigurnost pri radu od velike je važnosti izbor materijala za pojedine elemente građevine (temelji, zidovi, stupovi, stropovi, podovi, krovovi, vrata, prozori i stube) i za kretanje radnika i za opasnost od požara.

Za veličinu radnih prostorija traži se da visina iznosi najmanje 3 m, a na svaku zaposlenu osobu treba da bude najmanje 10 m^3 slobodnog prostora i najmanje 2 m^2 slobodne površine poda radne prostorije. Spomenute mjere rastu prema karakteru posla. Na primjer, kvadratura u teškoj industriji iznosi više od 20 m^2 po radniku, a kubatura može biti čak i 400 m^3 po radniku. Temeljni zidovi su od betona ili od armiranog betona s primjesom kamena. Temelji od opeke ne smatraju se dovoljno trajnima. Nosivi zidovi grade se od opeke ili se sastoje od stupova čeličnih konstrukcija i armiranog betona. Zidovi između stupova čuvaju prostoriju od nevremena i hladnoće. Zbog zaštite od vatre zidovi tvornica moraju biti do krajnih granica mogućnosti vatrosigurni, a takvima se smatraju oni od opeke i armiranog betona. Stropovi se izvode od drva, armiranog betona, armiranih opeka ili njihovih kombinacija sa željeznim nosiocima. Podovi moraju biti elastični, ne smiju biti odviše hladni ni glatki, a treba da su izrađeni tako da se ne praše i da se lako mogu čistiti i prati. Kao glavni materijal dolazi u obzir beton, opeka ili drugi proizvodi od pečene gline, drvo i umjetni kamen. Drveni pod je dobar i trajan i upotrebljava se u teškoj industriji. Umjetni kamen je topao, ali je manje otporan i zato se ne upotrebljava ondje gdje se radi s teškim predmetima. U proizvodnji gdje se razlijeva voda podovi moraju biti izrađeni od nepropusnog materijala i s blagim nagibom prema otvorima kanala. Ako postoji i kolosijek, gornja površina tračnica mora biti u visini površine poda. Vrata mogu biti od željeza ili od drva, a moraju se otvarati u smjeru izlaza. Raspored i broj izlaza mora biti takav da najveća udaljenost najkraćim putem od svakog radnog mjesta do najbližeg izlaza bude najviše 25 m. Okviri prozora mogu biti od armiranog betona, od željeza i od drva. Svi prozori moraju biti tako podešeni da se mogu otvarati i zatvarati s poda radionice kako bi se omogućila ventilacija. Stube moraju biti od vatrostalnog materijala. Glavni hodnici i prolazi treba da su široki najmanje 1,5 m, a sporedni namjanje 1 m.

Veličina i način gradnje radionice ovise o tehnološkom procesu, o proizvodnom kapacitetu, o broju, vrsti, veličini strojeva, radnih stolova i ostalih proizvodnih uređaja te o broju smjena i broju radnika. S tim u vezi treba odrediti potpunu površinu za svaki stroj i za svakog radnika. Sirovina se po mogućnosti, mora kretati kontinuirano i bez povratnih hodova.

Kotlovnica ne smije imati tavanicu (strop), nego samo laganu krovnu konstrukciju s ugrađenim otvorom za ventilaciju. Svaka kotlovnica mora imati najmanje dva izlaza u dva različita smjera. Najmanje jedan izlaz iz kotlovnice mora voditi neposredno na slobodan prostor. Sva vrata u njoj moraju se otvarati napolje, a to uostalom, vrijedi i za sva izlazna vrata iz radionica i zgrade.

Skladišta lakozapaljivih i eksplozivnih materijala treba da su građena odvojeno od ostalih prostorija.

Dvorište neka bude čisto i poravnato, bez jama i kanala te zasađeno travom. Prolazi treba da budu uvijek slobodni.

Tvorničke prostorije treba u toku godine grijati. Najpogodnija temperatura prostorija kreće se od 12 do 22°C, a ovisi o vrsti rada i o blizini postrojenja koja i sama razvijaju toplinu. Zrak radnih prostorija mora biti umjereno vlažan i treba da se kreće od 30 do 80% relativne vlažnosti.

Svaka radna prostorija mora biti dovoljno ventilirana, i to tako da se u normalnim prilikama može zrak izmijeniti šest puta u toku jednog sata. Za izvođenje dima, prašine, plinova i sl. služe ekshaustori, koji izvlače taj nečisti zrak i tvari neposredno s mjesta gdje nastaju. Ako se u radionici razvija para, treba uvesti inhaustore, koji suše zrak i dovode svež.

Za rasvjetu je najbolje danje svjetlo, ali u tvornicama najviše dolazi u obzir umjetna (električna) rasvjeta. Ako se radi o danjem svjetlu, površina prozora treba da iznosi najmanje 1/8 površine poda pojedine radne prostorije. Jakost rasvjete mjeri se u luksima, a određuje se prema vrsti rada te zahtjevima zdravlja i ekonomičnosti. Jakost rasvjete određuju jugoslavenski standardi, a kreće se na radnim mjestima od 50 do 5 000 luksa.

Radnicima treba staviti na raspolaganje zdravu i pitku vodu. Na svakih 60 radnika mora se postaviti jedna slavina pitke vode, i to tako da se voda može piti bez lončića. Slavina ne smije biti previše udaljena od radnika (ne više od 100 m).

Stambene zgrade za radnike moraju odgovarati suvremenim zahtjevima. U naselju radnog kolektiva treba da postoje jaslice, dom kulture, radničko-namještenički restoran te sportska igrališta i sl. Između radničkog naselja i tvornice treba odrediti tzv. sanitarnu zaštitnu zonu širine 100—2 000 m.

U tvornici treba da postoje garderobe u posebnim prostorijama s garderobnim ormarićima najmanje 35 × 35 × 150 cm. Zahodi moraju biti suvremeni, a njihov broj ovisi o broju zaposlenih radnika u jednoj smjeni (na svakih 30 radnika, odnosno na svakih 20 radnica jedan zahod) s pretprostorom u kojem je uređaj za pranje ruku sapunom. Umivaonici se izgrađuju u zasebnim prostorijama (posebno za radnike i posebno za radnice), i u njima treba da budu sapun i ručnik. Broj slavina ovisi o broju zaposlenih radnika i jednoj smjeni (da se odjednom može prati 1/5 radnika, a kod prljavih poslova 1/3). Za radnike treba da postoje kupaonice s hladnom i toplom vodom (najpovoljnije na tuš). One se moraju zimi zagrijavati. Na svakih 15 radnika treba da se stavi po jedan tuš.

45.23 OPĆA NAČELA SIGURNOSTI PRI RADU KOD ORUĐA ZA RAD

Kao oruđa i alate za rad u ovom izlaganju razumijevamo strojeve, strojne uređaje i ručni alat. Tjelesna oštećenja kod oruđa za rad gotovo su isključivo nesretni slučajevi (nezgode, povrede, ozljede). To su oštećenja koja su nastala naglo, određenim, vidljivim djelovanjem nekog kratkotrajnog događaja pri radu.

Najčešći uzroci nesretnih slučajeva kod oruđa za rad jesu: »direktan kontakt s pokretnim nezaštićenim dijelovima, povratni udar, dijelovi rasprsnutog alata, leteće čestice materijala, prašina i sl.; mehanička neispravnost, neispravnost električne instalacije, neispravan radni postupak pri radu« (Delak), nepostojanje uređaja za zaštitu, nedovoljno poznavanje oruđa za rad od strane radnika, potcjenjivanje opasnosti od strane radnika, neispravnost zaštitne odjeće i obuće. Osim toga su napose važni osobni faktori koje smo naveli pod 46.1.

Zaštitne naprave kod oruđa za rad mogu se podijeliti u četiri glavne skupine:

1 — nepomične, 2 — naprave za blokiranje (električki ili mehanički, elektronski), 3 — automatske (npr. za uklanjanje ruku, za izvlačenje ruku), 4 — za daljinsko rukovanje i za prinošenje materijala (dvoručni sistem puštanja stroja u rad, automatsko prinošenje materijala, specijalni alati za prinošenje materijala).

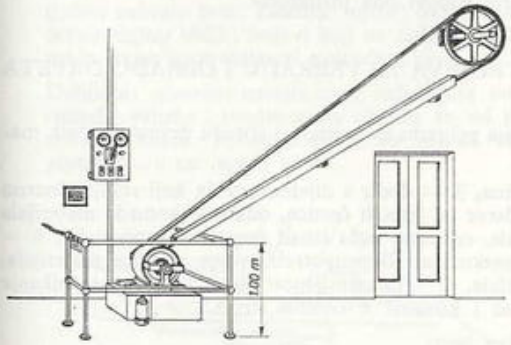
Veoma je važno da se zaštitne naprave predvide već pri konstruiranju. Zaštitne naprave koje se naknadno ugrađuju izazivaju veće troškove i često nisu uspješne jer se veoma teško prilagođuju postojećoj konstrukciji. Nadalje je važan razmještaj strojeva prema toku tehnološkog procesa, kao i stalno i pravilno održavanje oruđa za rad. Povoljno je da strojevi budu obojeni svjetlim bojama (npr. sivom), a zaštitne naprave crvenom bojom. Oruđa za rad moraju uvijek biti čista i uredno pripremljena za siguran rad.

Pogonski strojevi moraju biti smješteni u zasebne prostorije (strojarnice). Svi pokretni strojni dijelovi moraju biti zaštićeni, odnosno ograđeni, pokriveni. To se napose odnosi na zamašnjake, remenice, zupčanike, spojke i sl. Parovodi ili vodovi za odvod plinova moraju biti do visine 2 m iznad poda ozidani ili omotani izolacijom od nezapaljivog materijala.

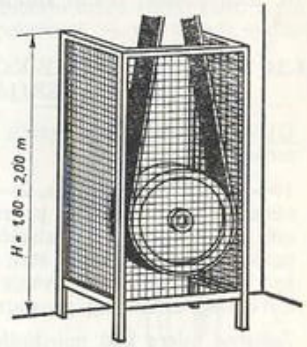
Kod eksplozivnih pogonskih strojeva treba predvidjeti napravu koja sprečava povratni udarac ručke kojom se takvi strojevi stavljaju u pogon ili napravu koja omogućuje isključivanje kad se motor stavi u pogon.

Stavljanje u pogon i zaustavljanje pogonskih strojeva objavljuje se pravodobno posebnim znakom u svim radionicama. Zabranjeno je obavljanje popravaka na pogonskim strojevima, kao i čišćenje pokretnih dijelova za vrijeme dok je stroj u pogonu. Podmazivanje je dopušteno samo posebnim napravama koje isključuju svaku opasnost.

Jame za zamašnjake, odnosno za pokretne dijelove pogonskih strojeva moraju biti ograđene ogradom od najmanje 1 m, koja će u visini 0,20 m iznad poda biti tako izrađena da se spriječi da noga zaposlenog slučajno ne upadne u jamu.



① Ograda kosog transmisijskog remena



② Ograda transmisije

Zamašnjaci, remenje i remenice i svi drugi pokretni dijelovi transmisije moraju biti ograđeni. Vertikalno i koso remenje, užeta i lanci, bez obzira na njihovu brzinu i širinu, moraju se ograditi do visine 1,8 m iznad poda ①, a takvi glavni dijelovi moraju se ograditi do visine od 2 m iznad poda. Horizontalni transmisijski dijelovi koji se nalaze na visini nižoj od 2 m iznad poda ② moraju se potpuno ograditi. Horizontalni dijelovi koji se nalaze na visini iznad 2 m od poda, a širi su od 10 cm i kreću se brzinom većom od 10 m/s, moraju se oklopiti bar sa svoje donje strane. Navlačenje ili nabacivanje na remenice smije se izvršiti samo za vrijeme dok stroj miruje, i to jedino pomoću posebnih naprava za tu svrhu.

Transmisijska vratila moraju biti tako izrađena da se mogu zaustavljati neovisno od drugih transmisijskih vratila. Horizontalna vratila koja se nalaze niže od 2 m iznad poda potrebno je ograditi, odnosno obložiti, a vertikalna ili kosa isto tako do visine od 1,5 m iznad poda. Krajevi vratila koji strše više od 1/4 promjera niže od 2 m iznad poda moraju se obložiti. Prijelazi preko transmisijskih vratila moraju biti čvrsto izrađeni sa sigurnim ogradama. Ležišta transmisija treba da su po mogućnosti s automatskim podmazivanjem.

Zupčanici na visini ispod 2 m iznad poda moraju biti opremljeni zaštitnim kutijama. Svi dijelovi na transmisijama (mazalice, klinovi, vijci i sl.) koji strše moraju biti zaštićeni ili glatko izvedeni.

Kod svakog radnog stroja mora postojati mogućnost da se stroj stavi u pogon i zaustavi neovisno od ostalih radnih strojeva, i to s radnog mjesta poslužioca. Električni pojedinačni pogon je znatno manje opasan od transmisijskog, ali postoji opasnost od električne struje, o čemu ćemo kasnije govoriti. Svaki stroj mora se dati odmah isključiti ako uslijed prekida u pogonskom stroju dođe do zastoja.

Kotlovi i kotlovski uređaji, kao i posude pod pritiskom moraju u svemu odgovarati posebnim propisima. Svaki kotao pod pritiskom mora imati propisanu armaturu (manometar, sigurnosni ventil, vodokazne cijevi), koja se mora nalaziti u potpuno ispravnu stanju. Najviši dopušteni pritisak kotla mora biti označen na posebnoj metalnoj pločici na samom kotlu, a isto tako vidljivo crvenom crtom i na manometru. Kotlovni kamen i mulj u kotlu moraju se temeljito čistiti suvremenim metodama. Pri radovima u kotlu mogu se upotrijebiti električne ručne svjetiljke i električni sprovodnici koji odgovaraju propisima za električne instalacije i ako su ti uređaji u potpuno ispravnu stanju. Napon ručnih električnih svjetiljki izmjenične struje treba svesti na napon od 42 V ili niže. Parnim postrojenjima može rukovati samo osoblje kvalificirano za tu službu. To se može povjeriti zdravim i fizički sposobnim muškarcima, starijim od 18 godina s propisanom stručnom spremom i ispitom. Parna postrojenja su pod nadzorom nadležnog inspektora parnih kotlova. U tu svrhu postoje posebni tehnički propisi (Službeni list FNRJ 7/57, 22/57), na koje posebno upozoravamo, a isto tako i na skripta dipl. inž. B. Bandalovića: »Parni kotlovi i parni sudovi pod pritiskom«.

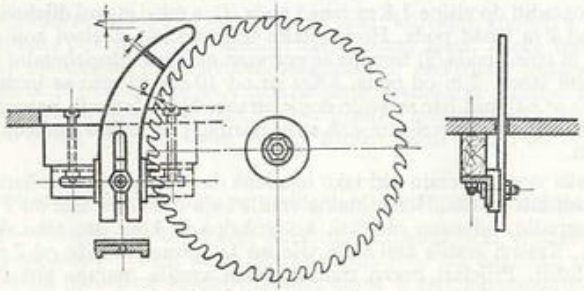
45.24 ZAŠTITNE MJERE KOD STROJEVA ZA PRERADU I OBRADU DRVETA I SLIČNIH MATERIJALA

Glavne opasnosti od tjelesnih oštećenja pri radu za preradu i obradu drveta i sličnih materijala jesu:

1 — nestručnost radnika, 2 — prašina, 3 — dodir s dijelom stroja koji reže, odnosno obrađuje materijal, 4 — povratni udarac od letećih čestica, odnosno komada materijala koji se obrađuje, 5 — zahvaćanje pile, odnosno noža iznad dopuštenog područja, 6 — nečist i neuredan radni stol, 7 — nedostatak ili neupotrebljavanje vodilice materijala, kao i naprave za potiskivanje materijala, 8 — neuzemljenost stroja i 9 — pomanjkanje dovoljnog slobodnog prostora za rad i kretanje u okolini stroja.

Zaštitne mjere kod pojedinih strojeva jesu:

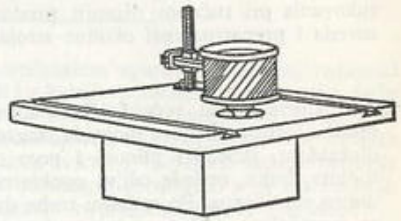
1 — Radnici moraju biti posebno stručni i uvježbani. 2 — Mora se usisavati prašina, i to neposredno na mjestu gdje ona nastaje. Ventilacija se mora izvesti ako na radnim mjestima atmosfera sadržava više od 300 čestica na 1 cm^3. 3 — Odjeća radnika treba da bude prilegnuta uz tijelo.



③ Zaštita kod kružne pile

Kružna pila je jedan od najopasnijih strojeva. Njezin list mora biti zaštićen ispod i iznad radnog stola zaštitnom kapom, ali tako da ne smeta u radu ③. Zaštitna kapa neka ne bude iznad predmeta više od 5 mm. Razdvojni klin: njegova debljina mora biti manja od širine reza, a veća od debljine lista pile (najmanje za 25%), klin treba da je visok sve do vrha najvišeg zuba pile. Udaljenost klina od svakog zupca ne smije biti veća od 10 mm. Nadalje treba upotrebljavati vodilicu, napravu za potiskivanje i alat za uklanjanje materijala. Kod klatne pile treba da postoji graničnik, a uređaj za vraćanje mora biti ispravan. Motorna kružna ručna pila neka ne bude teža od 30 kg.

Tračna pila je manje opasna od kružne pile. Opasnost dolazi od zahvata ruke od strane zubaca, od pucanja trake i od ispadanja iz vodilice. Moderna tračna pila je potpuno zaštićena s donje i s gornje strane osim radnog dijela trake.

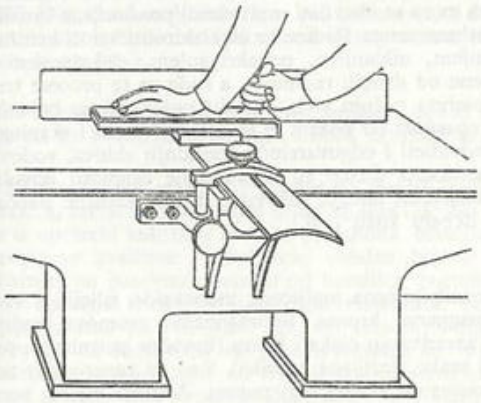


④ Zaštita kod glodalice

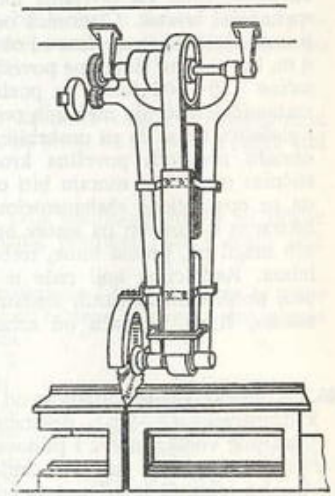
Glodalica: opasnost nastaje pri lomljenju alata i od povratnog udara. Osim toga, glodalica ima veliku brzinu obrtaja. Zaštitne naprave sastoje se od lima koji je prilagođen noževima ④, a osim toga treba upotrebljavati specijalan alat predviđen za velike brzine (preko 5 000 okr./min).

Ravnalica: opasnot nastaje od dodira s rotirajućim noževima i od povratnog udara kad noževi zahvate čvor. Zaštitne mjere: osovine noževa moraju imati cilindričan, a nikako četverouglast oblik; noževi koji ne rade moraju biti pokriveni, — pri obradi malih komada treba upotrebljavati potiskivač ⑤.

Debljača: opasnost nastaje zbog uklještenja ruku između valjaka i predmeta za obradu te od povratnog udara. Pri radu treba da radnik stoji postrance, a ne ispred stroja.



⑤ Zaštita kod ravnalice



⑥ Zaštita kod jarma (gatera)

Kod ostalih strojeva za obradu drva i sličnih materijala, kao što su strojevi za rezanje furnira, bušilice, brusilice, strojevi s valjcima, jarmovi (gateri) i slično, vrijede opće zaštitne mjere, tj. ograde pokretnih dijelova strojeva; npr. kod jarma ⑥ treba ograditi sve otvore kroz koje prolaze pokretni dijelovi, a ograda ne smije biti niža od 120 cm.

45.25 ZAŠTITNE MJERE PRI RADU NA STROJEVIMA I UREĐAJIMA ZA OBRADU METALA

Opće glavne opasnosti nastaju:

1 — uslijed nestručnosti radnika, 2 — od dodira s dijelovima stroja koji je u pokretu, odnosno koji obrađuje materijal, 3 — od letećih čestica metala (osobito pri obradi lijevanog željeza ili drugog obojenog metala), 4 — zbog zaustavljanja stroja rukom, 5 — od izbočina na predmetu rada, 6 — od nepritegnute odjeće, 7 — od neispravnog rukovanja pri ručnom dizanju predmeta, 8 — zbog nedostataka uzemljenja, 9 — od nereda i prenatrpanosti okoline stroja, 10 — zbog nedostataka štitnika za oči.

45.251 Ljevaonica: veće fizičko naprezanje, prisilan položaj tijela, zaprašenost zraka, opasne čestice silicijeva dioksida, zagađenost zraka ugljikovim monoksidom i sumpornim dioksidom, škodljivi plinovi i pare metala, povišena toplina pri lijevanju, radijacija topline, buka, ozljede očiju, opekotine. Prostorija ljevaonice treba da je visoka 6 m i dobro ventilirana. Po radniku treba da je najmanje 4 m² slobodne površine (isto vrijedi za kovačnice), jačina opće rasvjete najmanje 8 luksa. Kanali treba da su pokriveni i ograđeni do 1,20 m, ljevački prijesak treba pripremati u posebnim odjelima. Međusobna udaljenost okvira za kalupljenje na podu ljevaonice ne smije biti manja od 0,8 m, a širina putova za prolaženje kolica mora iznositi najmanje 1,2 m. platforme, stube i kupolne peći moraju biti ograđene do najmanje 1,2 m, ulazni otvor za zrak na ventilatoru kupolnih peći mora biti zaštićen rešetkom. Jamaste peći za paljenje metala sa Pb, Zn, Sn, Cu moraju biti u posebnoj prostoriji i treba da imaju zaštitnu kapu za usisavanje plinova. Ljevački lonci bruto-težine do 50 kg mogu se prenositi ručno, a teži napravama za prenošenje. Za izvrtanje lonaca bruto-težine iznad 100 kg mora se upotrebljavati mehanički izvrtač. Čistionica odjevaka mora biti odvojena od ljevaonice i dobro ventilirana. Odjel sa strojevima za obradu metala skidanjem piljevine mora biti visok najmanje 4 m, bar sa 2 m² slobodne površine, odnosno 8 m³ prostora po radniku i rasvjete prosječne jačine 150—300 luksa te pozitivnom temperaturom za vrijeme hladnoće. Ručno ili mehaničko čišćenje metalnih površina mora se obavljati u posebnoj prostoriji, a brusilice i glačalice treba da su opskrbljene ekshaustorom. Radionice za elektrolitičku ili kemijsku obradu metalnih površina kromiranjem, niklanjem, pobakrivanjem, eloksiranjem ili sličnim procesima moraju biti odvojene od drugih radionica, a kade za te procese treba da su opskrbljene ekshaustorima. Posebnu pažnju valja obratiti radovima na bojenju i lakiranju s obzirom na sastav boja i opasnost od požara te stvaranja štetnih i eksplozivnih magli pa, prema tome, treba predvidjeti i odgovarajuću izgradnju zidova, vodova i izlaza. Radnicima koji rade u ljevaonicama dužne su organizacije osigurati dovoljan broj propisanih zaštitnih sredstava (koljenice, obuću, rukavice, štitnik, zaštitne naočale, masku, šljem, pregaču od azbesta, debelu kožu i sl.).

45.252 Zavarivanje: opasnost od nitroznih plinova, ugljičnog monoksida, silicija u većoj koncentraciji (2—9%), dekstrina, mangana, kroma, feromangana, arsenova vodika, fosfornog vodika, olova i plinova pri zavarivanju cinka i bakra (ljevačka groznica), opasnost od eksplozije (smjesa acetilena i zraka, acetilena i kisika). Rad na zavarivanju acetilenom opasniji je od radova na zavarivanju električkim putem. Zaštitne mjere: acetilinski aparati moraju biti u potpuno ispravnu stanju i opremljeni sigurnosnom aparaturom. Za vrijeme rada aparat mora biti udaljen od mjesta autogene obrade metala, kao i od svake otvorene vatre i jako ugrijanih predmeta najmanje 10 m. Zavarivač mora imati propisanu kvalifikaciju. Radionica za stalan rad na zavarivanju acetilenom mora biti izolirana od drugih prostorija, građena iz vatrosigurnog materijala a rasvijetljena električki reflektorima izvan radionice kroz prozore. Kubatura radionice ovisi o kapacitetu acetilenskog aparata:

Kapacitet (u m³/sat)	Minimalna kubatura prostorije (m³)
10	60
20	80
30	100
40	150
100	175

Povremeni radovi zavarivanja mogu se obaviti acetilenskim aparatom i u nekoj radionici uz uvjet da aparat nema veće opterećenje od 10 kg kalcijeva karbida, a prostorija da je dobro ventilirana i da ima minimalnu kubaturu od 300 m³. Pri električnom zavarivanju osim specifičnih opasnosti od električkih uređaja osnovna su opasnost leteće kapljice tekućeg metala i troske te opasnost za oči od jakog svjetla i opekotine kože. Prostorija za stalno zavarivanje mora također biti izolirana od drugih prostorija, a za zaštitu onih koji prolaze mimo mjesta zavarivanja treba postaviti neprozirne štitove (paravane).

Pri zavarivanju acetilenskim aparatom ili električkim putem radnici moraju imati zaštitnu pregaču, rukavice, šljem koji zaštićuje oči (specijalna čvrsta stakla modre boje ili kombinacije crvenog i zelenog stakla), lice i vrat.

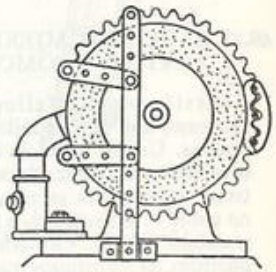
45.253 Tokarilica: opasnost nastaje pri lomu svrdla zbog nepravilnog zahvata na kosu površinu i zbog prevelike brzine pa stoga treba bušiti samo pri određenoj brzini. Predmete rada treba učvrstiti za stol, a ne držati ih rukama.

45.254 Glodalica: treba upotrebljavati glodala ispravno brušena i u dobru stanju, prenositi predmet u smjeru u kojem glodalo rotira, pustiti stroj u rad tek pošto je namještena zaštitna naprava.

45.255 Dugohodna blanjalica: pri podešavanju dužine kretanja stola i prilagođavanju brzine stroja treba blanjalicu ostaviti u praznom hodu; ne smije se sjedati na radni stol dok se on kreće.

45.256 Kratkohodna blanjalica (šeping): ispred alata valja namjestiti štitnik ili žičanu mrežu za hvatanje strugotine, dobro učvrstiti držač alata, predmet rada i radni stol.

45.257 Brusilica: opasnosti nastaju od letećih čestica materijala i brusnog kola te sitne prašine, zatim od rasprsnuća brusnog kola i dodira s njime. Glavne zaštitne mjere sastoje se u upotrebi zaštitnog oklopa, prirubnica brusnog kola propisane kvalitete i dopuštene obodne brzine ⑦. S obzirom na posebnu opasnost od brusilice postoji prilično opsežna literatura o zaštitnim mjerama. (Osobito upozoravamo na rad dipl. inž. N. Delaka: »Sigurnost pri radu na strojevima za obradu metala«, str. 61—94). Zaštitni oklop zaštićuje od letećih čestica materijala i od sitne prašine ⑦. Prirubnice služe samo kao držači brusnih kola, a upotrebljavaju se jedino u sklopu sa zaštitnim oklopom. Promjer prirubnica za suho brušenje i kod brusova od korunda mora iznositi najmanje jednu trećinu, a kod brusova za mokro brušenje najmanje jednu četvrtinu promjera brusa. Ako je obodna brzina brusa veća od 11 m/s, promjer prirubnice mora iznositi najmanje polovinu promjera brusa.



⑦ Zaštita kod brusilica

45.258 Mehaničke škare: visina ograde treba da odgovara debljini komada koji se reže. Stroj se ne smije stavljati u pogon dok predmet rada nije dobro i ispravno namješten. Napose valja paziti na dobru rasvjetu.

45.259 Frikcijske preše: najveća opasnost je ulaženje ruke u opasan prostor. Zaštitne mjere sastoje se u upotrebi sredstava koja, pri puštanju stroja u rad, istodobno zapošljavaju obje ruke. Najuspješnija zaštita sastoji se u primjeni automatskih naprava, za koje postoje razne konstrukcije. Glavno je načelo te zaštite da ona sprečava svako kretanje stroja dok se ruka radnika nalazi u opasnu prostoru. **Ručne preše:** opasnost postoji od udarca utega u glavu radnika dok je stroj u pokretu, a zaštita se sastoji u postavljanju limene trake oko poluge, odnosno izvan utega.

45.26 MJERE ZA ZAŠTITU OD ELEKTRIČNE STRUJE

Električna struja je opasna po život. Opasnost ovisi o naponu, o jakosti struje i o otporu koji daje pojedini dio ljudskog tijela. Na primjer, žuljava ruka daje otpor od 1 milijuna ohma, koža lica 10 do 20 tisuća ohma, a opći otpor može u vlažnim ili u vrućim prostorijama pasti i na 500, pa i na 100 ohma. Pri stalnom naponu struje smatra se da je, već prema otporu, a prema Ohmovu zakonu, jakost struje od 0,02 ampera štetna, od 0,03 ampera opasna, od 0,05 ampera vrlo opasna, a od 0,10 ampera sigurno smrtna. Nadalje se smatra da je praktički za život opasan napon iznad 50 volti. Stoga propisi traže da se u osobito nepovoljnim uvjetima rada (vlaga, željezne konstrukcije, kemikalije i sl.) mora primjenjivati struja niža od 42 volta, obično od 24 volta, što se postiže specijalnim transformatorima. Posljedice udaraca električne struje ovise, osim toga, ne samo o naponu, o jakosti i otporu nego i o osobnoj osjetljivosti, o putu struje (srce, mozak) i o vremenu utjecaja struje. Glavne sigurnosne mjere jesu:

- svi električni uređaji moraju biti izvedeni po poznatim propisima;
- uređaji se mogu upotrebljavati samo ako su u besprijekornu stanju;
- svi uređaji moraju po položaju, po konstrukciji i po materijalu biti takvi da nema opasnosti od dodira s dijelovima koji su pod naponom prema zemlji;
- prikladnim mjerama, kao osiguračima, upotrebom maksimalnih isklopnika ili uzemljenjem, mora se spriječiti prijelaz nedopuštenog visokog napona u potrošačkom strujnom krugu ili stvaranje viših napona od pogonskih;
- svi dijelovi električnih uređaja moraju biti zaštićeni protiv vlage, mehaničkih i kemijskih oštećenja i moraju biti tako uređeni da ne mogu prouzročiti požar ili eksploziju;
- posluživanje električnih uređaja smije se povjeriti samo stručnim osobama koje su točno poučene o opasnostima električne struje i o rukovanju uređajem. Popravci na dijelovima koji su pod naponom prema zemlji mogu se za vrijeme pogona obavljati istom onda kad su svi uređaji i naprave isključeni iz napona. Isto tako može se tek onda pružiti i pomoć unesrećenima.

45.27 ZAŠTITNE MJERE PRI RADU S OSTALIM STROJEVIMA, RUČNIM ALATOM I POMOĆNIM SREDSTVIMA

Centrifuge, miješalice, gnjetelice. Ti strojevi treba da su pokriveni zaštitnim pokrovcem, koji štiti radnika da ne dođe u dodir s rotacijskim dijelovima stroja za vrijeme pogona. Uređaj treba da bude tako konstruiran da se stroj ne može staviti u pogon dok otvor nije pokriven, odnosno da se pokrovac ne može dići dok je stroj u pogonu. Nadalje treba nastojati da se punjenje i pražnjenje obavljaju mehanički. Dopušteni broj okreta ne smije se prekoračiti, a isto tako ni maksimalna težina punjenja. To treba postići automatskim putem. Centrifuge treba najmanje jedanput godišnje pregledati i ispitati s obzirom na sigurnosne naprave, ležaje, prijenosnike i eventualne korozije. O tome treba voditi evidenciju u posebnoj knjizi ili rezultate ispitivanja unositi u strojnu kartu, koja treba da sadržava sve potrebne podatke o svakom stroju.

Ventilatore treba osigurati (da se onemogući dodir s rotacijskim dijelovima) žičanom mrežom.

Kod strojeva radilica s valjcima treba predvidjeti zaštitu da ruke zaposlenih osoba ne dospiju među valjke. Ovi treba da su sasvim pokriveni ili da imaju zaštitnu mrežu, zaštitni branik, lijevak i sl.

Razboje (tkalačke strojeve) treba opremiti zaštitnim uređajima da ne izleti (iskoči) čunjak, odnosno za slučaj da ipak izleti, treba staviti sa strane zaštitnu mrežu. Češljuge i slične tekstilne strojeve treba opremiti zaporom za pokrovac i napravom da se strojevi mogu brzo isključiti iz pogona.

Osobitu pažnju treba obratiti alatima. Među njima ima takvih koji s čovjekom čine funkcionalno jedinstvo (jer produljuju organe čovjeka) pa time pojačavaju potencijalnu i kinetičku energiju ili pojačavaju djelovanje mišića na temelju zakona o polugama. Alat treba da ima povoljan držak prema ruci radnika. Duljina drška treba da je takva da omogućuje što veći učinak sa što manje utroška energije. Osim toga, težina alata treba da je prikladna. Na primjer, pri radovima čekićem ustanovljeno je da je za stanovite radove optimalna težina čekića 5 kg. Pri radu lopatom važna je veličina same lopate, duljina drška, veličina kuta između lopate, lopate i drška, težina lopate, način ubacivanja lopate u materijal i njeno izvlačenje. Alat treba da bude uvijek u potpuno ispravnu stanju.

45.28 ZAŠTITNE MJERE KOD TRANSPORTNIH UREĐAJA

Kod transportnih uređaja zapaža se vrlo visok postotak nesretnih slučajeva, pa čak i pri upotrebi najobičnijih, ručnih prijenosnih, odnosno prijevoznih sredstava. Glavne zaštitne mjere sastoje se u tome da se poboljšaju organizacija i mehanizacija transportnih uređaja, da se upotrebljavaju za transport osposobljeni radnici, da se uvode signali za dizanje, kretanje i sl. i jednostavna ručna kolica. Suvremeni transport putem kojeg se znatno smanjuju opasnosti, obavlja se pomoću paleta i viljuškara. Treba naglasiti da je za sigurnost pri transportu važan stručan nadzor i pridržavanje dopuštene težine i brzine mehaničkih transportnih sredstava, a to treba da je označeno na transportnom sredstvu i u strojnoj karti.

⑧ Sigurna izvedba ljestava

Transportni putovi moraju uvijek biti u ispravnu stanju i zbog toga ih treba savjesno održavati. Nadalje, prolazi treba da su ograđeni solidnim ogradama.

Ljestve moraju biti tako izgrađene da ne mogu iskliznuti. One za transmisije treba da imaju naprave putem kojih se mogu zakvačiti za transmisije ⑧.

Osobitu pažnju valja obratiti sigurnosti pri radu dizalicama (lokacija dizalica, fundiranje, montaža, statički račun). Na prostoru ispod dizalice i oko nje (3—5 m izvan radijusa njenog kretanja), dok ona radi, ne smije se nitko zadržavati, odnosno kretati. Strogo je zabranjeno opterećivanje dizalice iznad dopuštene težine. Treba stalno paziti na ispravnost užeta, lanaca i kočnica. Za ispitivanje i evidenciju dizalica uopće, a osobito za osobna dizala (liftovi), postoje posebni propisi.

45.29 ZAŠTITNE MJERE PRI RADU JETKIM I OTROVNIM TVARIMA

Među najopasnije jetke tvari spadaju kiseline i lužine. One se pojavljuju u čvrstom i tekućem stanju. Opasnost od tih tvari sastoji se u tome što one razaraju kožno tkivo pa time nastaju rane koje teško zacjeljuju.

Najvažnije zaštitne mjere jesu: zaštitne naočale, zaštitne rukavice (od gume); za pretakanje tih tvari upotreba naprava koje sprečavaju prskanje i prolijevanje (ljuljačka, dizalo za balone); zabrana da se ustima isisava zrak iz cijevi radi pretakanja, upotreba posuda takvog oblika i izgleda koji onemogućuju da se te posude bilo u kome slučaju zamijene posudama u kojima se drži pitka voda, a natpisom valja označiti njihov sadržaj s oznakom materije u posudi.

Među otrovne i štetne plinove i pare, kao i tvari, odnosno prašine spadaju arsen, benzol, olovo, ugljični oksid, mangan, fosfor, živa, sumporougljik, soli barija, bromati, klorati, cijanovi spojevi, kromati, dinitroortokrezol, trinitrotoluol, cinkoksid, benzin itd. Za uklanjanje opasnosti važno je prepoznavanje tih tvari, poznavanje opasnosti, koncentracija, specifična težina, način nastajanja, zaštitne maske, odnosno filtri, ventilacija, ekshaustori i pravodobna prva pomoć.

45.3 ORGANIZACIJA PROVEDBE SIGURNOSNIH MJERA PRI RADU

Za zaštitu rada postoji kod nas posebna ustanova — inspekcija rada, koja sudjeluje već pri izdavanju dozvole za rad, odnosno pri podizanju tvornice ili njenog dijela. Osim toga, za zaštitu rada u zdravstvenom pogledu brine se i sanitarna inspekcija. Za kontrolu sigurnosti pri radu kod parnih kotlova i posuda pod pritiskom postoji također posebna ustanova.

Poslodavac je dužan da upozna sve zaštitne mjere i sigurnosne propise i da ih primjenjuje. U protivnu slučaju snosi odgovornost pred zakonom, osobito ako se dogode povrede na radu. I radnik je dužan da poštuje sve zaštitne mjere. Za specijalne poslove određeni su redoviti ili povremeni liječnički pregledi radnika.

Svaku veću promjenu u poslu poduzeće mora prijaviti inspekciji rada. Osim toga, odmah poslije nezgode mora se podnijeti prijava inspekciji rada i moraju se detaljno ispitati uzroci i okolnosti zbog kojih se nezgoda dogodila.

Pri zaštiti rada treba da sudjeluje čitav radni kolektiv, a osobito sindikalna organizacija. Ona osniva i posebnu komisiju za tu svrhu.

U većim poduzećima postoje, štoviše, i posebni odjeli sa specijalnim stručnjacima, koji vode nadzor nad zaštitom rada.

Kako smo već spomenuli, najveći broj povreda događa se zbog organizacijskih nedostataka dakle u vezi s organizacijom proizvodnje. Prema, tome, bit će potrebno da se sprečavanjem povreda pri radu bave u prvom redu osobe s tehničkim i ekonomskim obrazovanjem, tj. inženjeri i tehničari koji su po svojoj struci (konstrukcije, tehnološki procesi, organizacija i dr.) zvani da kao inspektori rada i kao pogonski inženjeri uočavaju prave uzroke i poduzimaju potrebne mjere. Osim toga, neophodna je suradnja s liječnicima, industrijskim psiholozima, sociolozima i pravnicima. Od velike je važnosti i suradnja starih i iskusnih radnika.

Danas se već moderni strojevi proizvode sa zaštitnim napravama, štoviše, u nekim državama ne smiju se ni prodavati bez njih. Velik broj povreda događa se jer se radnici ne služe zaštitnim napravama ili ih ne poznaju ili im ne odgovara brzina rada, materijal i sl. Prvi je zadatak tehničkih rukovodilaca da upoznaju radnike sa zaštitnim napravama, mjerama i opasnostima pri radu. To se postiže posebnim tečajevima, propagandom pomoću slika, filmova i sl.

Nove radnike, osobito one sa sela (a takvih ima kod nas vrlo mnogo) treba postepeno i posebno priučavati na brzinu stroja i upozoravati ih na opasnosti.

Isto tako treba osobitu pažnju posvetiti mladim radnicima (učenicima), kao i zaposlenju žena i invalida, odnosno defektnih (npr. gluhih) osoba.

Socijalnim osiguranjem osiguravaju se radnicima i njihovim obiteljima određena prava za slučaj bolesti, smanjenja radne sposobnosti, starosti, smrti, kao i druga prava utvrđena propisima o socijalnom osiguranju (čl. 18. Zakona o radnim odnosima).

Stjecanje i opseg pojedinih prava ovisi po pravilu o trajanju radnog odnosa i o visini plaće. Radnici i službenici imaju pravo na liječničku pomoć, na liječenje i na lijekove, kao i na novčanu naknadu mjesto plaće. Posebnu zaštitu uživaju žene.

Da bi se spriječile profesionalne bolesti i nesretni slučajevi pri radu, s obzirom na zdravstveno stanje i eventualnu preosjetljivost pojedinaca na pojedine okolnosti rada, sve češće se uvode preventivni liječnički pregledi radnika još prije zaposlenja. Pri tom se ispituje da li će radnik raditi u zatvorenoj prostoriji, napolju, pod zemljom, u sjedećem ili u stojećem, odnosno nekom drugom tjelesnom položaju, s čestim radnim kretnjama, prenošenjem većeg ili manjeg tereta, čestim hodanjem na više katova i sl. Nadalje se ispituje hoće li on raditi s jetkim materijalom (lužine, kiseline), s tvarima koje nadražuju kožu (benzin, nafta, terpentin), s industrijskim otrovima (olovo, živa, monoksid), s rendgenskim, radijskim, izotopnim, infracrvenim ili ultravioletnim zrakama, u prašini, dimu, buci, trešnji, vrućini, u hladu ili u vlazi, na propuhu, u smjenama, u noćnom radu itd. Također treba ispitati kod kojih će opasnih strojeva radnik raditi, zahtijeva li rad osobit umni napor i pažnju, ima li on posla sa strankama, traži li rad dobar vid, poznavanje boja, dobar sluh, dobar njuh, podnosi li radnik ravnotežu itd. Pregledi se obavljaju i pošto je radnik dulje vrijeme (npr. šest mjeseci) prekinuo radni odnos, odnosno promijenio zanimanje ili je počeo raditi nakon teže bolesti ili znatnijeg oštećenja organizma. Svrha je pregleda da se ustanovi koje okolnosti napose štetno djeluju na radnika kako bi se zaposlio na nekom drugom radnom mjestu bez štete za zdravlje. Korisno je da pri takvim pregledima sudjeluje i inženjer, odnosno tehničar koji po svojem stručnom znanju i iskustvu poznaje tehnološki proces i opasnosti neposredno u tvornici, odnosno radionici industrijskog poduzeća, pa, prema tome, može snositi i odgovornost za određivanje radnog mjesta.

GRIMS Predrag, dipl. liječnik

PRVA POMOĆ

46.1 OPĆI POGLEDI 1140

46.2 MEHANIČKE POVREDE 1140
Sredstva povrede — Rane — Komplikacije pri ranjavanju — Prijelomi — Sredstva imobilizacije — Uganuća i iščašenja

46.3 TERMIČKE POVREDE 1144
Opekotine — Smrzotine — Toplotni udar

46.4 POVREDE KISELINAMA I LUŽINAMA 1145

46.5 POVREDE ELEKTRIČNOM STRUJOM 1146
Strujni udar — Opekotine strujom

46.6 KRONIČNA TROVANJA I PROFESIONALNE BOLESTI. 1147
Profesionalne bolesti — Kronična otrovanja — Otrovanje plinovima — Ostala besvjesna stanja

46.7 POVREDE POJEDINIH DIJELOVA TIJELA 1149
Šake, oka, trbuha

46.8 UZROCI OZLJEDA I ORGANIZACIJA HITNE POMOĆI 1150

46 PRVA POMOĆ

46.1 OPĆI POGLEDI

U vijeku motorizacije, mehanizacije, ubrzanog tempa života i rada, sve važnije je poznavanje ispravnog i brzog pružanja pomoći povrijeđenome. Masovne katastrofe, prirodne kataklizme, a nadasve mogućnost izbijanja ratnih sukoba, stavljaju nam u dužnost da steknemo najvažnije znanje o pružanju samopomoći i pomoći drugima u nezgodi.

Ispravno pružena pomoć ozlijeđenome pojednostavnjuje kirurško liječenje i bitno ubrzava izlječenje. Nestručno pak pružena pomoć često ima suprotne posljedice: nepotrebno produžuje tok bolesti, liječenja, te izaziva učestale komplikacije.

Povrede klasificiramo po raznim kriterijima. Po medicinskim kriterijima dijelimo ih na oštećenja mekih česti, na povrede kostiju te na povrede sadržaja raznih tjelesnih šupljina. Sudska klasifikacija dijeli povrede na lake, na teške, na one po život opasne i smrtonosne.

Povrede nastale na radu pretežno nazivamo industrijskima. One su kod nas procentualno češće nego u naprednijim zemljama. Uzrok tome treba tražiti u ubrzanoj mehanizaciji i u industrijalizaciji zemlje, za kojom izobrazba kadrova uvijek dobrano zaostaje. Pretvaranje agrarne zemlje u zemlju jakog industrijskog potencijala zahtijeva uvijek slične žrtve. Radne navike ne stvaraju se tako brzo kako niču tvornice pa je i to razlog povećanom broju povreda. Po težini industrijske povrede obično svrstavamo u teže povrede, čemu razlog treba također tražiti u navedenim objašnjenjima. Neprikladnost prostorija i nepridržavanje HTZ-mjera također sa svoje strane dovode do učestalosti traume u industriji.

Broj industrijskih povreda, ogroman broj dana bolovanja i postotak smrtnih ishoda kod pretežno mladih ljudi dovode do velikih materijalnih šteta. Sve se to može smanjiti upoznavanjem i pravilnom primjenom metoda pružanja hitne medicinske pomoći, koja treba da bude prva karika u lancu postupaka za izlječenje povrijeđenoga.

46.2 MEHANIČKE POVREDE

46.21 SREDSTVA POVREDE

Bezbrojni su predmeti koji mogu povrijediti cjelovitost kože i na taj način raniti čovjeka. Ipak, do ranjavanja najčešće dolazi djelovanjem oštrica, bridova, uglatih tvrdih predmeta. Gnječne rane obično nastaju djelovanjem tupotvrdih predmeta, npr. poluga, zamašnjaka, letava, batina i slično. Posebno opasni izvori industrijskih povreda jesu transmisijsko remenje, valjci, preše i slično. Padovi prouzročeni na uljenim, vlažnim i skliskim podovima često su uzroci prijeloma, iščašenja i gnječnih rana.

46.22 RANE

Vrste rana

Općenito razlikujemo sječne, rezne, gnječne o strijelne rane. Ove posljednje u industriji rijetko susrećemo.

Razne rane zadane su oštrim, nježnim, tankim predmetima (npr. nožem, britvom, limom, žicom, oštrim rubovima i slično).

Sječne rane zadane su grubljim sječenjem sjekirom, posjeklicom, oštrim bridovima i slično.

Gnječne rane mogu biti posljedica djelovanja grube sile preko tupotvrdog predmeta, gdje se kinetička energija predmeta u pokretu prenosi na organizam i uzrokuje povredu. S medicinskog stajališta dijelimo rane na zatvorene i na otvorene. Kod zatvorenih rana cjelovitost kože nije oštećena. To su nagnječenja, krvni podljevi, hematomi i drugo.

Otvorene rane nose u sebi opasnost krvarenja i infekcije jer je oštećena cjelovitost kože — tog zaštitnog omotača organizma. Tu ubrajamo porezotine, posjekotine, ubode, probode, oguljotine, ogrebotine, gnječne rane i drugo.

Daleko najčešća vrsta industrijske rane je gnječna rana, oguljotina i razderotina. Gnječne rane su zvjezdolikog izgleda s nagnječenim resičastim, često uprljanim rubovima s kojih osrednje krvari. U dubini rane vidi se zgnječeno beživotno tkivo, a često i razna onečišćenja (ulje, ugljena prašina, komadići kamena i slično).

Oguljotine se rasprostiru po velikoj površini, plitke su i vrlo bolne. Sa ranjave površine polagano krvari u kapljicama, koje se polagano slijevaju i postepeno pokrivaju ranjavu površinu. Pošto se krv zgruša, preko ranjave površine prostire se svježa krasta. Najčešće pozicije takvih povreda jesu laktovi, koljena i lice.

Razderotine nastaju djelovanjem čavala, oštrih i šiljastih predmeta, kao odvijača, bušila i slično. Rane su jednodimenzionalne, u obliku crte, protežu se u dužini od nekoliko milimetara pa sve do nekoliko desetaka centimetara. Različite su dubine. Ako su dublje, mogu i znatnije krvariti.

Pružanje pomoći pri ranjavanju treba da teži k vraćanju integriteta kože, to jest, da vratimo koži sposobnost odjeljivanja organizma od vanjskog svijeta. To činimo tako da ranu previjemo i na taj način zatvorimo brešu nastalu u obrambenom sistemu organizma. Tehnički to izvodimo tako da okolinu rane najprije premažemo nekim sredstvom koje ubija bakterije. Najčešće nam se nađu pri ruci alkohol, jodna tinktura, cetalon-tinktura ili slično. Ne raspolažemo li nijednim medicinskim antiseptičkim sredstvom, može nam dobro poslužiti rakija, kolonjska voda, sapunica i slično. Pošto smo kožu okoline rane na opisani način dezinficirali, vadimo oprezno šiljatim metalnim predmetima grubu prljavštinu iz rane. Te predmete za vađenje stranih tijela moramo prethodno dezinficirati vatrom ili brisanjem alkoholom, jodom i sl. Za vađenje grube prljavštine iz rane najbolje će nam poslužiti pinceta, no isto tako možemo se dobro poslužiti i škarama, nožem ili drugim sličnim predmetom.

U slijedećem aktu odjeljujemo ranu od vanjskog svijeta, to jest stavljamo zavoj. Ovaj mora po pravilu biti sterilan, što znači da na njemu ne smije biti bakterija ni bakterijskih spora. Za to je najprikladniji tako zvani »prvi zavoj«. Sastoji se od klupka sterilizirane gaze s naokolo namotanim sterilnim zavojem. Ako takav unaprijed tvornički pripremljeni zavoj nemamo pri ruci, prikladan je i svaki drugi sterilizirani materijal. Ako nemamo ni sterilnog zavojnog materijala, možemo improvizirati zavoj iz raznih dijelova uzdužno rezrezanog bijelog platna. Takve vrpce platna moramo prethodno nekoliko minuta glačati vrućim glačalom.

Posebno treba napomenuti da je štetno stavljanje bilo kakve masti, otopine ili sličnog sredstva na ranu. Nju treba načelno zaviti samo suhim sterilnim zavojem.

Ima čitav niz načina za previjanje pojedinih dijelova čovječjeg tijela, pa i čitava nauka o zavojima. No stavljanje pojedinih vrsta zavoja na određene dijelove ljudskog tijela zahtijeva prije svega praktičnu obuku pa, prema tome, prelazi okvire ovog priručnika.

46.23 KOMPLIKACIJE PRI RANJAVANJU

1 — Krvarenje

Krvarenje može biti arterijsko, vensko i kapilarno. Dok je arterijsko krvarenje čak i iz manjih arterija opasno, kapilarno i vensko ne nose u sebi osobitih opasnosti. Odavde valja izuzeti krvarenje iz osobito velikih vena, koje, kao i krvarenje iz velikih arterija, može vrlo brzo dovesti i do smrti ranjenoga. Vensko krvarenje odlikuje se polaganim curenjem tamne krvi iz rane. Arterijsko krvarenje prepoznaje se po mlazu svijetle krvi koja izbija iz rane. Povrede većih krvnih sudova zahtijevaju neodgodivo zaustavljanje krvarenja jer su gubici većih količina krvi često nepovoljni, a koji put i sudbonosni.

Krvarenje zaustavljamo po pravilu takozvanim kompresivnim zavojem. To nije ništa drugo nego snažno zategnut prvi zavoj. U slučaju nužde možemo i preko prvog, sterilnog

zavoja nesterilnim materijalom učiniti čvrsto zategnut kružni povoj. Tako učinjeni kompresivni zavoj zaustavlja sva krvarenja, osim najtežeg, pretežno arterijskog krvarenja. Pri tom postupku korisno je udove podignuti i staviti u stanje mirovanja (imobilizirati ih).

Posve izuzetno postavljamo takozvani Ezmarkov (Esmarch) povezak. Takav povezak stavlja se pri arterijskim krvarenjima između rane i srca, dok se pri venskim krvarenjima stavlja uvijek ispod rane. Jedina dopuštena mjesta za postavljanje takve trake jesu natkoljenica, potkoljenica, nadlaktica i podlaktica. Takva se vrpca zateže snažno sve dok ne prestane arterijska cirkulacija u ekstremitetu. Tih vrpca, izrađenih od gume, čvrste tkanine i slično, imade gotovih, unaprijed priređenih. U nedostatku originalnih Ezmarkovih vrpca možemo se poslužiti zamotanom maramicom, gumenom cijevi ili vrpcom, konopcem i slično. Između kože i upotrijebljenog materijala treba postaviti mekanu tkaninu.

Zaustavljanje krvarenja treba da je brzo i efikasno. Pacijent ne smije izgubiti veće količine krvi. Ne smijemo se dati impresionirati dramatičnošću događaja koji se pred nama odvijaju, već moramo u punom miru provesti sve potrebne mjere da bi se prvo zaustavilo krvarenje, pa tek onda organizirao transport i poduzele sve ostale nužne mjere. Snažno krvarenje uvijek neposredno ugrožava život povrijeđenoga.

2 — Infekcija

Prodor i razmnožavanje bakterija u rani nazivamo infekcijom. Da bi bakterije ispoljile svoje djelovanje u rani, treba da ih se namnoži dovoljan broj. Vrijeme potrebno za razmnožavanje bakterija, to jest vrijeme od časa kad se čovjek ranio pa do časa kad su se ispoljili prvi znakovi infekcije, nazivamo inkubacijom. Što je inkubacija kraća, infekcija je to snažnija. Pri izraženoj infekciji rubovi rane postaju crveni, otečeni i nabreknuti, dok okolina rane postaje bolna. Iz rane se cijedi prljav ili gnojan iscjedak. Liječenje infekcije spada u ruke liječnika. Nastanak infekcije najbolje ćemo spriječiti provođenjem propisanih mjera prve pomoći. Osobito je važan aseptičan postupak pri previjanju rana.

46.24 PRIJELOMI

U posljednje vrijeme je broj prijeloma u osobitom porastu, što tumačimo sve bržim i gušćim prometom. Prema tome da li je uz prijelom kosti povrijeđena i koža, dijelimo prijelome na otvorene (koža nad prijelomom je povrijeđena) i na zatvorene (koža nad prijelomom zadržala je svoju cjelovitost). Povreda kože nastaje ili istodobnim djelovanjem sile na kost preko kože ili pak kožu probija šiljast ulomak kosti iznutra. Prognoza otvorenih prijeloma mnogo je nepovoljnija, liječenje traje dulje, komplikacije su brojnije. Najčešća komplikacija otvorenog prijeloma je infekcija kosti, koja onemogućuje brzo i ispravno zacjeljenje kosti.

Prema mehanizmu nastajanja prijelome dijelimo na direktne i na indirektne (posredne i neposredne). Ako sila neposrednim djelovanjem izazove prijelom kosti, onda takav prijelom nazivamo direktnim. Takvi su prijelomi često otvoreni i kost puca na više ulomaka.

Indirektni prijelomi nastaju pri padovima, kad težina tijela prijenosom dovede do pucanja kosti. Tu kost puca spiralno i obično postoje svega dva ulomka.

Znaci (simptomi) prijeloma jesu pokretljivost udova na mjestima gdje su oni inače čvrsti, škripanje ulomaka pri pokretanju, a upotreba takvog ekstremiteta je otežana ili nemoguća. Na mjestu prijeloma postoji otok. Pod kožom se često slijeva plavičasta krv.

Pružanje pomoći povrijeđenome sastoji se u imobilizaciji povrijeđenog dijela tijela. Imobilizirati znači učiniti nepokretnim. Pri stavljanju sredstava imobilizacije na pojedine dijelove ljudskog tijela moramo se držati ovih osnovnih načela:

1 — imobilizirati treba uvijek dva prijelomu susjedna zgloba;

2 — imobilizacijom ne smijemo ometati normalan krvotok;

3 — sredstvo imobilizacije ne smije sprečavati brz i jednostavan trans port ranjenika

Po pravilu razlikujemo terapeutsku i transportnu imobilizaciju. Transportna imobilizacija ima svrhu da omogući brzu, bezbolnu i atraumatsku dopremu pacijenta do zdravstvene ustanove. Ona je neobično važan faktor pri liječenju prijeloma. Nedovoljno i loše imobilizirani ulomci za vrijeme transporta trgaju i probadaju okolna tkiva, dovode do proboja kože, krvnih žila i slično. Na taj način dolazi ranjenik u zdravstvenu ustanovu u mnogo lošijem stanju nego što je bio na mjestu nesreće. Da se stanje pacijenta ne bi pogoršalo transportom, treba da imobiliziramo svaki prijelom prije transporta u zdravstvenu ustanovu.

46.25 SREDSTVA IMOBILIZACIJE

Razlikujemo tipizirana i priručna sredstva za izvođenje transportne imobilizacije. Tipiziranim sredstvima (Tomasovom i Diteriksovom udlagom) obično ne raspolažemo pa se ponajčešće moramo zadovoljiti priručnim sredstvima. Više se upotrebljava Kramerova šinja, koja se sastoji od dviju uzdužno postavljenih gibljivih čvrstih žica koje su međusobno povezane tanjim mekanim žicama. Takva se udlaga oblaže mekanim materijalom (gazom, vatom) i priljubljuje uz zdravi ekstremitet. Na taj način formira se potreban oblik, nakon čega šinju prebacujemo na povrijeđeni ekstremitet i tamo je zavojem fiksiramo.

Priručna sredstva

Za provođenje transportne imobilizacije priručnim sredstvima mogu nam poslužiti najrazličitija pomagala. Daščice pribijene u zgodnom uzajamnom odnosu, smotak šiblja, štapovi, kišobrani, daske i slično mogu poslužiti za imobilizaciju ekstremiteta. Noge možemo imobilizirati vežući jednu uz drugu. Podlakticu i nadlakticu ćemo staviti u stanje mirovanja trouglom maramom obješenom preko vrata. Najjednostavniji, ali vrlo dobar način je stavljanje podlaktice u otvor kaputa, time da se lakat pričvrsti uz kaput iglom sigurnicom.

Imobilizacija treba da ostane na povrijeđenome sve do predaje u ruke liječnika. Za vrijeme transporta treba češće kontrolirati imobilizirani ud. Ako primijetimo da je okrajina hladna, plava, bolna i neosjetljiva na dodir, treba svakako otpustiti zavoj kojim je sredstvo imobilizacije pričvršćeno.

46.26 UGANUĆA I IŠČAŠENJA

Uganuće je povreda zgloba gdje dolazi do istegnuća zglobnih sveza (ligamenata). Česta je i povreda zglobne čahure. Zglobna tijela ostaju uvijek u svom normalnom međusobnom položaju.

Iščašenje zgloba je takva povreda gdje uvijek nalazimo rastrgnuće zglobne čahure, a zglobna tijela su rastavljena i izbačena iz svog normalnog međusobnog odnosa.

Simptomi obiju vrsta povreda donekle su slični. Nalazimo otok zgloba, krvne podlive, nemogućnost aktivnog pomicanja ekstremiteta. Tako otečeni zglobovi vrlo su bolni pri pokretanju, pa i na pritisak i dodir. Iščašenje k svemu tome pokazuje posve svojevrstan znak — elastičnu fiksaciju. Tu ekstremitet ima stalan tipičan položaj, koji ni silom ne možemo promijeniti. Ekstremitet ne možemo vratiti u njegov prirodni položaj i zglob učiniti ponovno pokretnim jer mišići fiksiraju kosti u novonastalom položaju.

Iščašenje je znatno teža povreda i zahtijeva hitniju liječničku intervenciju nego pri uganućima. Pomoć objema skupinama ozljeđenika pružamo stavljanjem imobilizacije po naprijed navedenim načelima.

46.3 TERMIČKE POVREDE

46.31 OPEKOTINE

Opekotine nastaju djelovanjem topline na kožu i sluznicu. Kriterij po kojem dijelimo opekotine temelji se na procjeni dubine opekotine i njezine rasprostranjenosti. Po dubini zahvaćenog tkiva dijelimo sve opekotine na tri stupnja. Crvenilo kože popraćeno bolom prvi je stupanj. Pri drugom stupnju na površini kože pojavljuju se mjehuri ispunjeni bistrom tekućinom. Treći stupanj zahvaća čitavu debljinu kože koja je odumrla uslijed djelovanja toplote. Treći je stadij bezbolan jer su uništeni osjetni živčani završeci u koži. Ona je tvrda, napeta, prljava, često zamazana gareži, djelićima baruta, ugljenom prašinom i slično.

Opekotine nastaju djelovanjem vruće vodene pare, kipućih tekućina ili rastopljenim metalom. Kod eksplozija benzinskih para, raznih plinova, eksploziva itd. usijani zrak i gorući djelići eksplozivne mase uzroci su opeklina na koži. Plamen je također čest uzrok opekotini. Sva navedena sredstva uzrokuju opekline većih nepravilnih površina kože. Ugrijani predmeti slučajno prislonjeni uz kožu uzrokuju opekline manje površine. Na koži često ostane otisak dotičnog predmeta.

Što je površina opekotine veća, a oštećenje kože dublje, opće stanje bolesnika je teže i prognoza lošija.

Pružanje pomoći

Da bismo uklonili utjecaje izvana, spriječili infekciju i kod opsežnijih opekotina omogućili transport, moramo opečeno mjesto sterilno previti. Previjanje treba izvršiti bez ikakve prethodne manipulacije. Sva u narodu poznata i omiljela sredstva za premazivanje opekotina opravdana su samo pri opekotinama prvoga stupnja. Opekline drugog i trećeg stupnja premazivati bilo kakvim sredstvom opasan je i nadasve štetan pothvat. Kad se radi o opekotinama ekstremiteta, treba ovaj, pošto smo opekotinu sterilno previli, imobilizirati. Ako je opečena tako velika površina da previjanje opekotine nije moguće, umatamo ranjenika jednostavno u dobro izglačanu plahtu. Transport takvih teško opečenih pacijenata mora biti brz i obazriv. Za vrijeme transporta dobro je davati dovoljno toplih napitaka kako bi se nadoknadila tekućina koja izlazi s površine opekotine. Ako opečeni trpi snažne boli, treba mu dati sredstva za ublaženje.

Svaka, pa i najmanja opekotina može negativno utjecati na opće stanje povrijeđenoga. Bilo je ubrzano, pacijent se loše osjeća, gubi velike količine plazme s opečene površine. To je razlog zbog čega naša briga mora biti upravljena ne samo prema opečenom dijelu tijela već i bolesniku u cijelosti. Povrijeđenoga treba držati u toploj prostoriji zimi, a u hladu ljeti. Daje mu se dovoljno toplih napitaka, npr. mlijeka, čaja, limunade i slično. Poželjan je dodatak šećera da bi se nadoknadio gubitak kalorija. Pri teškim i opsežnim opekotinama poželjno je nadoknaditi krvnu plazmu, no to nije moguće bez pomoći bar srednjeg medicinskog kadra. Jače boli treba liječiti davanjem snažnih analgetika (sredstva protiv bolova), kao što su plivadon, saridon, aspirin, piramidon i drugo.

46.32 SMRZOTINE

Smrzotine nastaju djelovanjem hladnoće na pojedine dijelove tijela, ponajčešće na okrajine. Prsti na nogama i na rukama, nos i uši najviše su izloženi smrzavanju. Povrijeđeni dijelovi tijela dobivaju ljubičastoplavu boju i u prvo su vrijeme neosjetljivi i bezbolni. Kasnije, nakon dolaska u toplu prostoriju, smrznuti dijelovi ostaju blijedi ako je smrznuće zahvatilo i dublja tkiva. Ako je smrznuta samo površina kože, uskoro se i tome dijelu vraća crvena boja. Nakon nekoliko dana počinje se smrznuti i bezživotni dio kože odjeljivati od zdrave kože. Takvi dijelovi uništenog tkiva prljavo su tamne boje, neosjetljivi na dodir. Smrzotine su česte u šofera, biciklista i u motociklista na rukama i na licu. Kod ljudi koji stoje u hladnom i vlažnom prostoru česte su smrzotine na nogama.

Hitne medicinske pomoći u stvari nema jer i sam pacijent obično primijeti svoju povredu tek pošto je prošlo određeno vrijeme. Opis načina na koji se liječi smrzotina prelazi okvire ovog prikaza. Na radnim mjestima gdje radnici dolaze u dodir s niskim temperaturama treba nositi zaštitna sredstva.

46.33 TOPLOTNI UDAR

Toplokrvna živa bića ne ovise o toplini okoline, već samo aktivno održavaju temperaturu svoga tijela. Mehanizam održavanja stalne tjelesne temperature nazivamo termoregulacijom. Ako ona bilo iz kojeg razloga zakaže pa se temperatura tijela počinje dizati, organizam dolazi u stanje koje se običava nazivati dosta nezgodnim izrazom toplo tni udar.

Dugotrajni marševi po suncu, boravak u vlažnim toplim prostorijama, ložionicama, strojarnicama brodova i slično onemogućuje dovoljno izdavanje tjelesne topline pa se temperatura tijela polako penje preko 40°C. Svijest se postepeno gasi, koža je topla, znojna i crvena. Bilo je jako ubrzano. Napose nezgodan moment za održanje normalne tjelesne temperature je vlažnost zraka jer se znojenjem izdaje suvišna toplina. Isparavanje znoja u prostoriji zasićenoj vlagom veoma je otežano, a to uz inače povišenu temperaturu dovodi do opisanog stanja.

Pomoć pružamo tako da s pacijenta skinemo suvišno odijelo pa unesrećenika stavimo na hladniie mjesto. Ekstremitete možemo polijevati hladnom vodom ili umatati u hladne povoje. Povrijeđeni, uklonjen sa sunca ili drugog mjesta s povišenom toplinom, ubrzo dolazi k svijesti i rapidno se oporavlja.

Uvjeti za postanak toplotnog udara postoje osobito onda kad je zrak vlažan i tijelo ne može znojenjem izdati dovoljnu količinu topline. Ako uz veliku količinu vlage u zraku postoji i visoka temperatura, a da je tijelo možda zagrnuto odjećom, onda postoje svi uvjeti za slom mehanizma termoregulacije. Takvi se incidenti češće događaju u kotlovnicama i ložionicama, prostorijama bez dovoljne ventilacije, sušarama, visokim pećima i slično. Osoblje takvih pogona često je objekt opisanih medicinskih intervencija. Osoblje pak izloženo dugotrajnoj toplini snažno se znoji pa gubitkom vode i soli dolazi do isušenja organizma. Takvo isušenje ne možemo ispraviti uzimanjem obične vode jer nam ona ne nadoknađuje soli u dovoljnoj mjeri. To je razlog što takvom osoblju preporučujemo da pije vodu uz dodatak soli.

Stanje nastalo djelovanjem niskih temperatura na čitav organizam nazivamo smrznućem. Smrznutu osobu moramo sasvim postepeno utopljavati te postepeno i oprezno prenositi je u prostorije sa sve višom temperaturom. Osim tog postupka nisu dopuštene nikakve druge manipulacije.

46.4 POVREDE KISELINAMA I LUŽINAMA

46.41 POVREDE KISELINAMA

Solna, sumporna, mravlja, octena i druge kiseline često su sirovine, ne samo kemijske već i tekstilne, drvne i drugih industrija. Ljudi koji rukuju takvim kiselinama često su izloženi povredama. Najčešće povređuju ruke i lice. Povrede lica nastaju obično prigodom razrijeđivanja i prelijevanja kiselina; one se tada raspršuju u kapljice i tako dospijevaju na lice. Napose je nezgodna povreda oka jer i najmanja količina kiseline može imati teške posljedice po sposobnost vida. Nešto rjeđe su unutarnje povrede jednjaka, ustiju i želuca, koje nastaju slučajnom ili namjernom konzumacijom kiseline. Samoubojstva kiselinama često ne uspijevaju pa povrijeđeni nakon dugog i tegobnog liječenja ostaju na životu, no sa znatnim invaliditetom.

Nakon povrede spasavalac obično zna kakvom materijom je povreda zadana. Pri slučajnoj povredi ostaje na mjestu nezgode obično etiketirana boca ili suvišak kiseline, što nam daje dovoljno podataka da prepoznamo kiselinu kojom je povreda zadana.

Koža na mjestu povrede je zagasito crvenosmeđe boje, a na prijelazu u zdravi dio je žarko crvena. Osobitu boju kože uzrokuje dušična kiselina, koja s bjelančevinama kože daje takozvanu ksantoproteinsku reakciju. Koža je žute boje, a nastali ksantoproteinski sprečava dublje prodiranje kiseline u tkiva pa su tako povrede izazvane dušičnom kiselinom redovito površne.

Pomoć pružamo tako da klupkom gaze, vate ili čistog platna, koje prethodno namočimo u blagu lužinu, pritisnemo na povrijeđeno mjesto. Upotrijebljenu vatu bacamo i brišemo novim klupkom. Taj postupak ponavljamo nekoliko puta, izbjegavajući pri tom trljanje ili brisanje. Dopušteno je samo jednom čvrsto pritisnuti povrijeđeno mjesto (njemački: tupfen). Za neutralizaciju kiselina služimo se jako razrijeđenom otopinom amonijaka ili, rjeđe, gašenog vapna. Pošto smo tako neutralizirali kiselinu na koži, ranu sterilno prematamo. Ako je ona vrlo velika, opće stanje povrijeđenoga je loše.

Osobitu pažnju moramo obratiti povredama oka. Važno je smjesta isprati oko vodom. (Blagim alkalijama koje ne bi podraživale oko obično na mjestu povrede ne raspolažemo.) Nato komadićem gaze zatvaramo oko i hitno upućujemo pacijenta na odjel za očne bolesti.

46.42 POVREDE LUŽINAMA

Najčešće sredstvo povrede je natrijeva lužina, zatim koncentrirani amonijak, dok su ostala sredstva rjeđa. Sva mjesta koja su izložena djelovanjima kiseline mogu biti povrijeđena i lužinama. Kod slučajnih povreda najčešće je povrijeđena koža, a oko nešto rjeđe. Kod namjernih povreda (konzumacija lužine) povrijeđeni su usna šupljina, ždrijelo, jednjak i želudac. Površina kože je prljavosive boje bez jasne granice prema zdravom dijelu ili s jedva naznačenim crvenim rubom. Površina je uvijek vlažna, a često se s površine cijedi limfa.

Pomoć povrijeđenome pružamo po istom načelu kao i kod povrede kiselinama, samo što sada za neutralizaciju upotrebljavamo blagu kiselinu. Izbor takvih kiselina je velik. Spomenimo samo ocat, vino, soda-vodu, limunski ili narandžin sok i drugo. Napose kod unutrašnjih povreda možemo lako neutralizirati suvišnu lužinu kiselim napicima. Pri povredi oka treba oko brzo i ustrajno ispirati vodom.

46.5 POVREDE ELEKTRIČNOM STRUJOM

46.51 STRUJNI UDAR

Vrsta povrede nanesena uključivanjem organizma u strujni krug ovisi o vrsti uključene struje. Struje visoke napetosti, a male jakosti, nailaze u organizmu na manji otpor pa lakše prolaze kroz tijelo. Takve struje uzrokuju opće promjene koje u njihovu najizraženijem obliku nazivamo »strujni udar«. Na svom prolazu kroz tijelo električna struja remeti fine regulacione živčane impulse (podražaje) i na taj način uzrokuje čitav niz poremećaja. Srčana akcija je normalno upravljena električnim podražajima, koji teku preko finih živčanih vlakana. Razumljivo je da izvana uvedena, nekoliko miliona puta jača električna struja izaziva poremećaje u akcijama srčanog mišića. Srce zatajuje, čovjek gubi svijest a disanje postaje veoma površno. Bilo na ruci se ne osjeća, a kucaji srca postaju nečujni. Koža pacijenta je blijeda, usnice plave, dok su zjenice obično proširene.

Takvo stanje zahtijeva hitno i spretno pružanje pomoći. Potrebno je najprije unesrećenoga ukloniti iz strujnog kruga. Nije potrebno naglašavati da to treba učiniti tako da spasavalac sam ne bude uključen u strujni krug. Poznati su brojni slučajevi gdje je i po nekoliko spasilaca stradalo prigodom pružanja pomoći. Nekim izoliranim predmetom treba odmaknuti strujni vod ili dio instalacije pod naponom. Tek pošto smo se uvjerili da je tijelo unesrećenoga izvan strujnog kruga, pružamo mu pomoć. Ona se sastoji od dviju radnji, koje treba izvoditi istodobno. Za takav postupak treba svakako osigurati više

osoba da bi se masaža srca i umjetno disanje mogli simultano odvijati. Kako su oba postupka prilično naporni i dugotrajni, valja se na vrijeme pobrinuti za zamjenu. Masaža srca provodi se tako da se unesrećeni polegne na čvrstu podlogu, a spasavalac klekne s njegove desne strane. On polaže oba dlana, jedan preko dugoga, na prsnu kost i ritmički pritišće prsa povrijeđenoga. Pritisak obiju ruku traje jedan tren, a zatim slijedi naglo otpuštanje. Takvo ritmičko pritiskivanje treba izvoditi dvadeset do trideset puta u minuti. Pritisak treba da je snažan, ali ipak oprezno doziran kako ne bismo slomili rebra povrijeđenoga. Istodobno se izvodi i umjetno disanje. Najbolja je i u posljednje vrijeme najviše se preporučuje metoda, koju danas smatramo jedino efikasnom, »usta na usta«. Preko prebačene gaze ili maramice spasilac upuhuje zrak u usta unesrećenoga. Koliko god taj način izgleda nehigijenski i neestetski, ipak ga treba uvijek primjenjivati jer u pluća unesrećenog dovodi mnogo više zraka nego što to omogućavaju ostale metode. Druge metode manje su efikasne, a traže mnogo veći napor od spasavaoca. Praktički nije moguće istodobno masirati srce i davati umjetno disanje ostalim metodama.

Na pitanje kako dugo treba oživljavati unesrećenoga teško je dati korektan odgovor. Poznati su slučajevi kad je pacijent vraćen u život nakon šest do sedam sati masaže srca i umjetnog disanja. To su, međutim, izuzetni slučajevi, jer svakako očekujemo da će liječnička pomoć ubrzo stići, a time rad na oživljavanju prelazi u stručne ruke.

46.52 OPEKOTINE STRUJOM

Električna struja velike jakosti a male napetosti slabo prolazi kroz poluvodiče, nailazeći na velik otpor. Što je ovaj veći, veće je i zagrijavanje vodiča pa nam to objašnjava sposobnost jakih struja da izazivaju opekotine. Takvim opekotinama najčešće su zahvaćene ruke. Opekline su duboke, oštro ograničene, po pravilu trećeg stupnja. Ako je djelovanje struje dugotrajnije, postoji mogućnost da se strujni krug sam isključi. To se događa tada kad površina kože pougljeni i na taj način prekida daljnji tok struje.

Opekline strujom imaju zbog svoje dubine lošu prognozu. Često i nakon dugotrajnog liječenja zaostaje znatan invaliditet šake. Pružanje pomoći ne razlikuje se od onoga kod ostalih opekotina.

Osobita vrsta povrede strujom je udar gromom, koji daje znake strujnog udara, pa i lokalne opekotine (ulazni i izlazni biljeg).

46.6 KRONIČNA TROVANJA I PROFESIONALNE BOLESTI

46.61 PROFESIONALNE BOLESTI

Svaku bolest koja je nastala kao posljedica bavljenja nekom osobitom vrstom posla nazivamo profesionalnom bolešću. Drugim riječima, ako je neka bolest osobito često vezana uz obavljanje stanovitih zanimanja — uz određenu profesiju, onda takvu bolest s pravom nazivamo bolešću zanimanja. U industrijskim pogonima javljaju se razne profesionalne bolesti prilično često. U pogonima za proizvodnju nafte česti su kožni ekcemi, pa i rak kože. Do njega dolazi trajnim prljanjem pojedinih dijelova tijela. Liječenje je teško pa se takva osoba mora ukloniti s izloženog radnog mjesta. U industriji katrana i umjetnih smola česte su pojave tumora unutrašnjih organa. U industriji anilinskih boja i kod radnika u bojadisaonicama tekstilne industrije česte su izrasline na mokraćnom mjehuru. Za nastanak tumora okrivljujemo amino-skupine pa zato takve tumore nazivamo amino-tumorima. Radnici zaposleni u drvnoj industriji pri politiranju i bojenju često oboljevaju od raznih nadražaja kože. I terpentinska ulja izazivaju razne promjene na koži. Pluća su često sijelo oboljenja nastalih u vezi sa zanimanjem. Rudari oboljevaju od antrakoze. Tu bolest uzrokuje dugogodišnje udisanje ugljene prašine i često je kombinirana s tuberkulozom. Slična bolest, ali s još lošijom prognozom, razvija se kod osoba koje udišu silikatnu prašinu. Ta se bolest naziva silikoza. Na istom načelu razvijaju

se azbestoza (azbest), sideroza, (metalna, pretežno željezna prašina) i halikoza (kamena prašina). Za sve te bolesti zajednička je karakteristika učestalost ostalih plućnih oboljenja. Tuberkuloza, upala pluća, rak pluća i drugo mnogo su češći kod nosilaca spomenutih stanja. Dišna površina i plućni kapacitet znatno su sniženi, a to jako smanjuje radnu sposobnost.

Postoji još čitav niz profesionalnih bolesti, no njihovo nabrajanje prelazilo bi okvire ovog priručnika.

Kako smo već prije naglasili, liječenje takvih bolesti vrlo je teško i mukotrpno, u stvari praktički nemoguće sve dok se bolesnik bavi svojim zanimanjem. Mnogo je efikasnija prevencija profesionalnih oboljenja. Treba se striktno pridržavati HTZ-mjera, propisa o duljini radnog vremena, o godišnjim odmorima i slično.

46.62 KRONIČNA OTROVANJA

Kod pojedinih zanimanja radnik dolazi u neprekidan kontakt s otrovnim materijama, što omogućuje kronično otrovanje. Najpoznatiji su slučajevi otrovanja olovom u industriji akumulatora, tiskarama i drugdje gdje se obraduje olovo. Tu postoje svi klasični znaci otrovanja teškim metalima. Pacijenti su slabi, astenični, bezvoljni, nemaju apetita, žale se na česte grčeve u trbuhu, a pate i od čestih proljeva. Posebno dobro vidljiv znak je taman rub oko zubnog mesa.

Takva i slična oštećenja mogu nastati na svim radnim mjestima gdje dolazi do prisnog kontakta čovjeka s teškim metalima. Preko ruku ili jelom dolaze sitne čestice metala do probavnog sistema, odakle prelaze u tijelo i uzrokuju opisane pojave kroničnog otrovanja. Najčešća su otrovanja cinkom, olovom, arsenom i drugim metalima. Liječenje spada u ruke interniste ili specijaliste za profesionalne bolesti.

46.63 OTROVANJE PLINOVIMA

U industriji se najčešće upotrebljavaju rasvjetni plin, metan, butan i drugi. Pri njihovu nepotpunom izgaranju razvijaju se ugljični monoksid i dioksid. Otrovanja plinovima imaju osobit tok. Najčešće se postojanje plina ne primjećuje sve dok se ne ispolji njegovo djelovanje na ljude. Otrovani postaje sumoran, pospan, teško se kreće. Kad zamijeti da se s njime nešto događa, obično je već kasno i znaci otrovanja izraženi su u tolikoj mjeri da pacijent više ne može sam sebi pomoći.

Važno je da se utvrdi da se zaista radi o otrovanju plinom. To je obično lako jer spasavalac nailazi na atmosferu punu plina, a prema vrsti aparature u blizini (motor, plinovod, peć, bombe s plinovima) lako je zaključiti o kakvom se plinu radi.

Znaci otrovanja su nesvjestica, široke zjenice, ljubičastoplavkasta boja kože. Puls je ubrzan, obično nepravilan. Ako je unesrećeni pri svijesti, često povraća i žali se na jaku glavobolju. Koji put su povrijedeni dezorijentirani pa netočno i sporo odgovaraju na pitanja. Pružanje pomoći počinje iznošenjem iz zatrovane prostorije. Tom prilikom spasavaoci moraju upotrijebiti zaštitna sredstva. Više puta je pri lakšem stupnju otrovanja dovoljno dovođenje kisika, uz umjetno disanje. Kod težih otrovanja potreban je hitan transport u zdravstvenu ustanovu.

Posebne znakove daje otrovanje ugljičnim monoksidom koji nastaje pri nepotpunom izgaranju ugljika. Taj monoksid zamjenjuje kisik u hemoglobinu crvenih krvnih tjelešaca. Ta veza je trajna pa je takav hemoglobin zauvijek izbačen iz funkcije. Kako je afinitet ugljičnog monoksida prema hemoglobinu oko 300 puta veći od afiniteta kisika, već je izvanredno malen postotak ugljičnog monoksida u udisanom zraku vrlo otrovan. Pacijenti otrovani ugljičnim monoksidom crveni su u licu i tijelu pa čak i nakon nastupa smrti.

Otrovanje plinovima u znatnom broju možemo smanjiti urednim održavanjem plinskih instalacija i provođenjem propisanih mjera.

46.64 OSTALA BESVJESNA STANJA

Ima čitav niz oboljenja koja naglo i nenadano dovode do gubitka svijesti. Mnogo puta je vrlo teško ustanoviti uzrok gubitka svijesti pa, prema tome, i odrediti potrebno liječenje. Najčešći uzroci besvjesnih stanja jesu srčana i moždana kap, šećerna bolest, bolesti jetre i drugo. Poseban oblik gubitka svijesti nailazimo kod bolesnika od šećerne bolesti koji se liječi insulinom. Ako takve osobe ubrizgaju sebi preveliku količinu insulina, dolazi do naglog pada šećera u krvi, a to dovodi do gubitka svijesti.

Kad naiđemo na osobu u besvjesnom stanju, ne treba da gubimo vrijeme beskorisnim, a često i štetnim oživljavanjem pacijenta, već je potrebno da što prije organiziramo brz transport do bolničke ustanove.

46.7 POVREDE POJEDINIH DIJELOVA TIJELA

46.71 POVREDA ŠAKE

Šaka je najizloženiji dio tijela pri svakoj vrsti rada. Ona i prsti su u neprekidnoj upotrebi pri svakom radnom procesu i dolaze u dodir s pokretnim dijelovima stroja. Nije stoga čudo da su baš oni onaj dio našega tijela koji se najčešće povređuje. Postoje svi mogući prijelazi od najsitnijih povreda pa do teških razaranja čitave šake i prstiju. Sitne povrede, kao ubodi, male ogrebotine, raspukline kože i drugo omogućuju ulaz klica u organizam i dovode do gnojnih upala u području prstiju i šake. Infekcija se lako širi u tetivne ovojnice, pa i do kostiju, izazivajući uporna i dugotrajna gnojenja. Takva stanja nerijetko završavaju opsežnim invaliditetom, a ovaj je u disproporciji s povredama, koje su u početku sitne, jedva vidljive.

Dublje povrede mogu sezati i do tetiva. Povrijeđena tetiva zahtijeva dugotrajno specijalističko liječenje. Tetive najčešće budu presječene raznim oštricama, noževima, bušilima, limom i slično. Tu treba što prije privesti ranjenika kirurškoj obradi, jer uspjeh rekonstrukcije tetive ovisi o vremenu koje je prošlo od časa povrede. Teži i grublji predmeti i alati dovode često do lomova pojedinih kostiju, pa i do smrskavanja čitave šake. U takvim slučajevima vrlo često ne preostaje drugo nego da se dijelovi šake odstrane (amputiraju). Osobito teške povrede uzrokuju cirkularne pile, koje obično nisu dovoljno zaštićene. Slične devastacije šake vide se kad ona dospije pod valjke teških preša ili štanci.

46.72 POVREDE OKA

Drugi, za rad neobično važan organ jest oko. Ima čitav niz radnih procesa koji ugrožavaju organ vida. Iako je oko lako zaštititi zaštitnim sredstvima, nošenje takvih zaštitnih sredstava (naočala) može biti neugodno nepriviknutoj osobi. Naočale često smetaju pri radu pa ih radnici na svoju nesreću nerijetko izbjegavaju. Oko je tako suptilan organ da i najmanje povrede mogu dovesti do znatnog smanjenja, pa i gubitka vida. Tokari, kovači, brusači, klesari i pripadnici sličnih zanimanja osobito su ugroženi. Sitno strano tijelo upada u oko i zabija se u zid očne jabučice. Ne treba pokušavati rukom izvaditi strano tijelo. Jedino je dopušteno oprezno ispiranje oka vodom ili čajem od kamilice. Ako tim načinom ne možemo ukloniti strano tijelo, moramo pacijenta smjesta predvesti okulisti.

Užareni sitni komadići ugljena, iskre, mogu također izazvati povrede oka. Takvim su opasnostima osobito izvrgnuti varioci, ložači i topioci metala. Posebne povrede uzrokuju kiseline i lužine. Neoprezno baratanje tim tekućinama, a posebno nepropisno razrjeđivanje kiselina dovodi do čestih povreda oka. Pomoć pružamo samo tako da pokušamo isprati oko toplom vodom ili čajem od kamilice. Druge manipulacije nisu dopuštene.

46.73 POVREDE TRBUHA

Povrede trbuha nisu česte, no zbog opasnih posljedica treba svakoga kome je povrijeđen trbuh privesti k liječniku. Udarac tupog predmeta u području trbuha u početku ne mora izazivati znatnijih poremećaja. Tek kasnije razvijaju se znaci povrede unutrašnjih organa.

Pri povredi crijeva nakon nekoliko sati dolazi do upale potrbušnice. To je opasno stanje, koje traži neodgodiv kirurški zahvat. Pacijent je u lošem općem stanju, povraća, trbuh ga boli pri dodiru i pri pomicanju.

Ako je udarac povrijedio jetru ili slezenu, nastaje snažno krvarenje u trbušnu šupljinu. Povrijeđeni je blijed, puls mu je jedva pipljiv, ubrzan, opće stanje pacijenta je loše. Takva povreda također traži hitan kirurški zahvat.

46.8 UZROCI OZLJEDA I ORGANIZACIJA HITNE POMOĆI

46.81 UZROCI OZLJEDA

Nedovoljno izgrađene radne navike najčešće su uzrok industrijskih povreda. Radnici se kod nas pretežno regrutiraju sa sela, gdje je način rada sasvim drukčiji. Zbog brze industrijalizacije naši radnici nisu stigli da steknu potrebno radno iskustvo. Oni sa sela u većini slučajeva zadržavaju svoje seoske posjede, na kojima, i nadalje rade izvan radnog vremena. Zbog toga se prekomjerno umaraju i nemaju dovoljno dnevnog odmora. Takvi radnici često iskorišćuju i svoj godišnji odmor za intenzivan rad na seoskom posjedu. To im sve smanjuje mogućnost potrebnog odmora pa su ti umorni radnici u velikom postotku objekt traumatiziranja zbog nedostatka koncentracije i potrebne pažnje. Alkoholizirane osobe također ne mogu raditi s dovoljnom pažnjom, pa i to pridonosi velikom broju povreda.

Prostorije često ne odgovaraju normativima te su i radni uvjeti u takvim prostorijama otežani. Što su uvjeti rada, mikroklima i rasvjeta nepovoljniji, to je broj povreda veći. Stanje strojnog parka, stupanj automatizacije, način održavanja i sl. također utječu na broj povreda. Plinske, električne i ostale instalacije treba uredno održavati, alat za rad mora biti u ispravnom stanju. Loš i neprikladan alat čest je uzrok povreda pri radu. Poboljšanjem radnih uvjeta i pridržavanjem mjera HTZ bitno smanjujemo broj i težinu povreda, a time i broj izgubljenih radnih dana.

46.82 ORGANIZACIJA HITNE POMOĆI

Sve radne prostorije treba opskrbiti prikladnim materijalom za pružanje prve pomoći. Tu spadaju sterilni zavoji, sredstva za dezinfekciju. Kramerove udlage, ljepljivi emplastrum i drugo. Takav materijal mora biti uvijek dostupan i ne smije se držati pod ključem. Nije dovoljno opskrbiti radne prostorije potrebnim medicinskim materijalom, već je važno i da se osoblje upozna s načinom rukovanja. Svaki radnik treba da je izobražen u pružanju samopomoći i pomoći drugima. To se postiže povremenim održavanjem kursova hitne pomoći. Neobično je važno sticanje praktičnog znanja, što na već održanim kursovima često nije bio slučaj.

Organizacija stručne hitne pomoći mora se također provesti. Svaki veći industrijski pogon treba da ima industrijsku ambulantu u okviru tvornice. Liječnik te ambulante mora biti ne samo uvijek dostupan za radnog vremena, već mora i poznavati specifičnosti pojedinih radnih mjesta. Svaka veća industrijska ambulanta trebala bi da raspolaže dovoljnim brojem kola hitne pomoći, koja bi omogućivala hitan transport u svako vrijeme. Zdravstvena služba sa svoje strane treba da osigura dovoljan broj uvijek dežurnih specijalista koji bi bili u stanju da svaku povredu brzo i stručno riješe. Samo na taj način organizirana služba hitne pomoći, koja obuhvaća sve osoblje, od radnika, pa preko srednjeg medicinskog kadra do superspecijalističkih ustanova, garantira besprijekorno, efikasno i kontinuirano liječenje svake povrede.

KAZALO

A

abrazivi 404
acetil-celuloza (13) 344
acetilen 780
adicijski postupak dijeljenja 596
agregatiranje strojeva 638
agregatni strojevi 638
akceleratori plastičnih masa 323
aktivna kontrola 894
alat 900
— pri blanjanju 442
— — bušenju 447
— — izradi zupčanika 485
— — sigurnosti pri radu 1128
— oblici za brušenje 473
— za brušenje 470
— — dubljenje 443
— — gledanje 457
— — grebanje 464
— — hladno prešanje, materijali 702
— — izradu navoja na bušilici 483
— — lepanje 489
— — piljenje 477
— — rezanje navoja 481
— — savijanje 687
— — tokarenje 427
alatne glodalice 592
alatni čelici, tipizacija 180
— — za rad u hladnom i u vrućem 202
— strojevi 507
— — sigurnost pri radu 1131
alitiranje (11) (25) 112, 841
alotropske promjene 15
alu-čel-žica 141
aluminij 141
— dodatak čeliku 88
aluminijska bronca 128
aluminijske slitine, vrste 145
aluminijski lemovi 827
aluminotermijsko zavarivanje 805
amalgamiranje 839
ambalažiranje 846
aminoplasti (13) 335
amorfnost 10
analitička procjena radnih mjesta 1124
analiza ekonomičnosti naprava 957
— plinova 1022
— proizvoda 1088
— proizvodnog programa 1087
andezit (14) 363
anemometar 1000
angobiranje 374
anizotropija 14
anodizacija 845
anodna oksidacija Al-slitina 144
antifrikcijske slitine 49
antikorozivna zaštita Al-slitina 144
antikorozivni čelik 41
antikorozivnost mjedi 132
antimon 152
A. P. I-težina 1024
A. P. I-specifična težina, tablica 1052
apsolutni tlak 978
arbitraža 1036
ARCAIR (24) 826
areometri 974
argon 794
ARGONARC, postupak zavarivanja 794
Arhimedova spirala, obrada 599
Armce 82
armirane plastične mase 850
armiranje poliesterskih smola 884
asfalt 409
atom 9
austenit 71
autogeno rezanje čeličnih prijelevaka 761
automat 539
automati tokarilice 559
— viševretene tokarilice 561
automatizacija 539
automatizirana proizvodnja 901
automatizirani stroj 540
automatski ciklus rada 539
— čelici 189
automatsko upravljanje 542
azbest 398

B

bakar 123
— dodatak čeliku 88
— taljenje i lijevanje 751
— tekstura 124
bakrene slitine 125
balata (14) 392
barometar 984
batovi 660
bat, proračun veličine 668
— s daskom 660
Bauschingerov efekt (11) 46
baza ili osnova naprave 925
— konstruktivna 898
— kontrolna 898
baza, određivanje 926
— tehnološka 898
— tehnološkog procesa 898
bazalt 364
baždarenje 970
Beale (212) 626
bejnit (bainit) (11) 187
bentonit 370
berilij 155
berilijeva bronca 156
bestepeni prijenosnici 522
besvjesna stanja 1149
bešavne cijevi, proizvodnja 721
— hladne valjane cijevi 721
— tople valjane cijevi 721
beton 383
— korozija 385
— svojstva 384
— vrste 384
bijela kovina 152
bijelo sirovo željezo 75
Bilgram (212) 625
biro za unapređenje proizvodnje 1036
bitumen 408
blanja dugohodna 566
blanjalica za patrice 570
— za rubove limova 570
— za utore 570
blanjalice 564
— kratkohodne 564
blanjanje 441
— dugohodno 441
— kratkohodno 441
blum (valjanje) 718
boje 398
— izdašnost 400
boje modela 736
— (površinske) plastičnih masa 873
— poliesterskih smola 884
boje plastičnih masa 324
bojenje, granulata plastičnih masa 851
boksit 365
boksitni cement 379
bradavičasto zavarivanje 808
brijanje zupčanika 632
broj komada izradaka 932
— zubaca na 1" za piljenje 478
brojila 968
— za mjerenje protoka 1015
bronca 125
— taljenje i lijevanje 751
bruniranje 842
brusilica 603
— zaštita 1133
brusilice bez šiljaka 609
— univerzalne 609
brusilice za okruglo vanjsko brušenje 608
— — ravno brušenje 611
— — unutarnje brušenje 610
brusna ploča, izoštravanje 606
brusne ploče, finoća 471
— — izbor za čišćenje odljeva 762
— — oblici 473
— — obodne brzine 762

brusne ploče, struktura 471
— — tvrdoća 471
— — tvrdoća i zrnatost 762
brusni alati 313
brusno vretenište 603
brušenje 467
— bez šiljaka 468
— načini 468
— odljevaka 762
— plastičnih masa 871
— plošno 469
— profilno 470
— unutrašnje kružno 469
— vanjsko kružno 468
— — — radijalno 468
— — — uzdužno 468
— zupčanika 630
bruto-količina materijala 1043
brzina brušenja 603
— deformacije (22) 647
— elektrolučnog rezanja prilje-vaka 761
— isprešavanja 710
— istjecanja plinova pri zavari-vanju 780
— korozije 837
posmika glodalica 586
— provlačenja 697
— rezanja pri bušenju posmici svrdla 450, 453
— — — tokarenja 433
— — svrdla 453
brzina utiskivanja (22) 706
brzine rezanja pri blanjanju 443
— — — brušenju 473
— — — glodanju 458
— — — grebanju 465
— — — piljenju 479
— — — upuštanju 454
— — v_{60} 444
— — za izradu navoja na bušilici 483
— — — — — — — tokarilici 482
brzorezni čelik 108, 118, 204
brzostežuća glava 534
bušenje 447
— rupa 479
bušilice 570
— horizontalne glodalice 578
— koordinatne 579
— radijalne 576
— redne 573
— revolverske 574
— stolne 570
— stupne 571
— viševretene 575
— za duboko bušenje 581
— — navoje 582

C

celuloza (14) 350
celulozni acetat (13) 344
— eteri 345
— hidrat 342
— nitrat 343
cement 378
cementator 73
cementiranje 110
cementit 71
center-lees 609
centralni nervni sistem 1124
centrično stezanje 939
centrifugalni liv 756
cer 155

cijaniranje 112
cijena koštanja (41) 1033
— — obrađenog izratka 957
cijevi čelične 250
— vučene 721
— za plinske vodove 781
ciklus popravaka 1111
cilindrični blok za utiskivanje 711
cink 148
cirkon 156
CO_2 zaštita, zavarivanje 800
crijep 375
crni barut 411
crteži 1043
crveni liv, taljenje i lijevanje 751
— metal 137
Cu-Zn dijagram 131

Č

čađa 407
čelici brzorezni 118
— otporni na habanje 207
— — — kemijske utjecaje 211
— — protiv rđe i kiselina 117
— stabilizirani 117
— ukovnja 660
— za cementiranje 191
— — kemijsku industriju 116, 187
— — niske temperature 115, 186
— — nitriranje 193
— — opruge 198
— — poboljšavanje 194
— — reaktore 119
čelična sačma, primjena 759
čelične trake, težina 228
čelični liv (11) (23) 77
čelični liv, kalupi 749
— — žarenje 750
čeoni (vršni) kut oštrice ε 420
čeono ravno brušenje 607
čeono zavarivanje 810
čista obrada 904
čisto željezo 82
čišćenje grubo 759
— odljevaka 758
čovjek i rad 1123
čvrstoća pri višim temperatu-rama 649
— pijeska (23) 726
— zavarenih konstrukcija 779
— željeza 81

D

danceta, proizvodnja 682
deaktivizacija 847
debljina lima pri savijanju 686
decinkacija 839
defektacija 1105
defektoskopija 296
deformacione sile pri vučenju 681
degazacija 847
degresivni troškovi 932
dekapirani lim 114
dekapiranje 840
dendrit (11) 19
— slojasti 24
desikans 846
diferencijalno dijeljenje 597
difuzija metala 23
difuziona metalizacija 112

dijamantni alati 441
dijelienje diferencijalno 597
— dužinsko 599
— posredno 595
dimenzije atoma 9
— kalupnika 729
dinamička izdržljivost 33
dinamit 411
dinamometar 976
— kočni 1001
— terzijski 1002
— transmisijski 1002
diobena glava 595
— ploča 596
diorit (14) 363
direktor poduzeća 1035
dislokacija 21
distorzija 16
disuplin 781
djelovanje slučaja 894
— utora 41
dobivanje plastičnih masa 318
dodaci čelika 84
— ljevačkom pijesku 724
— za obradu 735
dodatak na izradu otkovaka 659
— ukupni za obradu 896
— za obradu 895
— — operaciju 896
dodatno vrijeme (42) (43)
dohodak 1033
dopunski koeficijent 1065
dopuštena naprezanja za čelik 225
dorada otpreska plastičnih masa 859
dosje stroja 1044
dostavno kretanje 423
dotjerivanje površine plastičnih masa 871
doziranje plastičnih masa 851
dozrijevanje Al-slitina 142
drvo 348
— estetska svojstva 350
— greške 355
— gustoća 352
— ispitivanje 358
— kemijska obrada 348
— kemijski sastav 350
— mehanička svojstva 352
— prerada 357
— presjek stabla 349
— stezanje i bujanje 353
— sušenje 356
— tehnička svojstva 350
— trajnost 355
— tvrdoća 351
— unutrašnja građa 349
— vrste 348
— zaštita 356
— — od požara 357
— — — truljenja 357
— — protiv bujanja 357
— — — gljiva 357
dubilica 568
dubljenje 442
duboko vučenje 674
dugohodne blanje 566
duo-sistem valjaka valjaonica 716
dupleks-postupak 744
dural 145
duroplasti (13) (25) 321, 844
dužinsko dijeljenje 599
dvokomorna peć 670
dvoradni bat 662

E

ekonomičnost 1034
— izrade 1043
— naprava 957
ekonomika i organizacija 1031
— poduzeća 1032
ekonomska analiza (41) (42) 1036
ekonomske jedinice poduzeća 1037
ekonomsko tehnička dokumenta-cija 1037
ekscentri 941
ekspandirajući polistiren, prerada 882
eksplozivi 410
— vrste 411
ekstenzometar 272
ekstruder 860
ekstrudiranje, izrada folija, traka, ploča 864
— plastičnih masa 860
ekstruzija 709
ekstruzijske preše 711
— — materijal dijelova 713
elasti (13) 322
elastičnost 51
elastično vraćanje savijenog pred-meta 687
elementi alatnih strojeva 507
— automatizacije 540
— vremena izrade 908
— — — norme 1064
— za stezanje 939
električna mjerenja 1017
— struja (HTZ) 1134
električne peći 744
— — za obojene metale 751
električni luk 788
elektroanodno brušenje 502
elektrode, označivanje 788
— materijal 119
— oblog 788
— podjela 786
— potrošak 789
— promjer 790
— za navarivanje 789
— — zavarivanje 786
elektroerozivni strojevi 501
elektrokemijska obrada 502
elektrolit 841
elektrolitska obrada 502
elektroliza 841
elektrolučne peći 744
— rezanje kisikom 821
— zavarivanje Al i Al-slitina 814
— — obloženim elektrodama 814
— — pod praškom 791
elektrolučno zavarivanje pod za-štitnom letvom 791
— — poluautomatsko 784
— — ručno 784
— — — zaštitom plina 794
— žlijebljenje 826
elektron 9
elektrootporna peć 671
elektrootporno zavarivanje 806
elektro-zavarivanje pod šljakom 805
Elin-Hafergutovo zavarivanje 791
eliptička rezultanta 34
Elira-postupak zavarivanja 791
eloksiranje 842
emajliranje 842
energija (42) 1051
ENTC-otpornici 1009

epoksi-smole (13) 340
EPP-postupak zavarivanja 791
epruveta 269
erozione bušilice 501
esterpolimetakrilne kiseline (13) 333
etil-celuloza (13) 345
etoksilinske smole (13) 340
eutektička mješavina 26
— slitina 25
eutektikum 26, 68
eutektoid 67
evidencija alata 1050

F

faktori točnosti obrade 891
— utornog djelovanja 41
faze rada pri pojednostavnjenju 1086
Fe-C dijagram 62
Fellows 618
fenolne smole (13) 334
ferit 71
feroslitine 218, 739
fiksni troškovi 932
fina obrada 904
financijsko poslovanje (41) 1036
fino tokarenje 440
finoća obrade i maksimalna hra-pavost 424
Fisce-Crachingov test (24) 775
fizikalna svojstva metala 58
fizikalne veličine metala 170
fleksibilna vreća (26) 886
flekiranje 873
fluidoplasti (13) 322
folije iz plastičnih masa 863
formule pri plastičnoj obradi 650
fosfatiranje 844
fosfor, primjesa željezu 83
— utjecaj na SL 740
frekvencija titranja 42
frikcijske preše 666
fritovanje 374
furnir 358

G

gabre (14) 363
galvanizacija plastičnih masa 873
galvanotehnika 841
gantogram 1054
gašenje (11) 105
generalni popravak 1110
germanij 156
getri (12) 310
gips (sadra) 365, 377
glavna baza (28) 915
glavno kretanje 423
glazura 374
Gleason 626
glina 364
— ispitivanje 371
— obrada 371
— sastav i svojstva 369
glinenina (14) 373
glinenština 373
glodala 456
glodalica kopirna 594
— planska 592
glodalica uzdužna 593
glodalice 583
— alatne 592
— horizontalne 590

glodalice univerzalne 591
— vertikalne 591
glodanje 455
— čeono 456
— obodne 456
gnajs (14) 365
gnječenje (11) 91
gnječive Al-bronce 126, 129
— mjedi 133
godovi (14) 349
gorište maziva 1026
građa metala 9
građevni uvjeti (HTZ) 1127
grafit (11) (23) 71
grafitizacija 839
grafitizator 73
grafitne kuglice 77
granica elasticiteta, ispitivanje 271
— elastičnosti 52
— proporcionaliteta, ispitivanje 271
— razvlačenja 43
— — ispitivanje 270
granični broj komada 1046
granit 363
grebanje (211) (25) 463
grecanje 496
greške pri mjerenju 969
— odljevaka 763
— — podjela na skupine 763
grubo čišćenje 759
grupe grešaka odljevaka 763
grupna metoda (HTZ) 1126
— tehnologija 908
grupne naprave 910
grupni proces 910
gubici zbog oštećenja pri radu 1124
guma 391
gumiranje 844
gutaperča (14) 392

H

hastelley-slitine 119
Heidenreich i Harbeck 624
hidrat celuloze 342
hidrauličke preše 665
— — za utiskivanje 706
— — bestepeni prijenos 523
hidrokomore 760
hidrostatske vodilice 527
hidrostatsko prešanje 306
higijensko-tehnička zaštita stro-jeva 1128
histereza 18, 53
hladna pukotina 96
hladne deformacije 39
hladno duboko utiskivanje 702
— gnječenje 91
— — Al-slitina 144
— oblikovanje, postupci 700
— prešanje 700
— provlačenje, očvršćenje, otvrd-nuće 695
— sabijanje 700
— valjane čelične trake 220
— valjane trake 719
— vučeni profili 720
hlađenje odljevaka iz plastičnih masa 856
hodogram (43) 1090
homogenizacija (11) (22) 105
honanje 491
— strojevi 635

Hookov dijagram 39
Hoockov pravac 52
horizontalne glodalice 590
horizontalni kovački strojevi 667
hrapavost površina 425

I

ilovača 364
impregnacija odljevaka 765
indukcijske peći 744
infekcija 1142
inhibicija, kočenje korozije 846
injekciono brizganje plastičnih masa 850
inkromiranje 841
I-nosači 241
instrukcijski list (27) (42) 906
instrument, daljinski 968
— dinamički i energetski 997
instrumenti brzine 997
— — izgled i izvedba 967
— klase 970
— kompenzacijski 969
— podešavanje nul-točke 971
— primjena 967
— registracijski 968
— regulacijski 968
— skalni, pokazni 967
— statički 969
— utjecaj topline 971
interferencija 992
interkristaliničan 20
intermetalni spoj 16
investicija (41) (43) 1037
investicijski elaborat 1037
ionska izmjena 842
iskivanje 651
iskoristivost kovačkih batova 664
iskoristivost materijala 896
iskrenje, ispitivanje materijala 296
ispitivanja bez razaranja 296
— cijevi 294
— dvostrukim previjanjem 293
— limova 293
— ljevačkog pijeska 726
— maziva 1024
— metala 268
ispitivanje savijanja 293
— tvrdoće turpijom 294
— ubrzano 292
— zavarivanja 817
isprešavanje, brzina 710
— temperatura 710
ispupčavanje pri vučenju 680
istiskivanje, v. ekstruzija 709
istokračni kutnici 235
istosmjerno glodanje 588
istresanje 758
iverice (14) 358
iščašenje 1143
izbacivanje odljevka iz plastičnih masa 856
izbor baza tehnološkog procesa 898
— maziva za prevlačenje 695
— oblika pripremaka 896
— problema (43) 1086
— struje zavarivanja 795
izdaci zbog oštećenja pri radu 1125
izetirani čelici 114
izgor kupolne peći 740
izmjena crteža (42) 1049
izmjenična čvrstoća 33
izmjenično naprezanje 32
izmjenljivo naprezanje 32
izobličenje čelika 96
izotopi 297
izotropija 14
izračunavanje koristi (43) 1088
— norme 1074
izrada (41) 1036
— alata 1049
— jezgri 731
— kalupa 729
— modela 734
— navoja 480
izvijanje, ispitivanje 275
izvlačenje cijevi ekstrudiranjem 861
— plastična masa, postupci 866
— profila ekstrudiranjem 861
izvor struje zavarivanja 784
izvršenje normi 1085

J

jahač tokarilica 551
jedinke za gibanje 640
jednokomorna kovačka peć 670
jetke i otrovne tvari (HTZ) 1135
jezgra (11) 9
jezgre, izrada (23) 731

K

Kacmarekov dijagram 675
kadmij 150
kalibri 992
kalibrirani valjak valjaonice 717
kalibriranje profila 691
kaljenje 105
— dvostruko 111
— ledeno 106
kaljevi (14) 375
kalkulacija 1032
kalupi za čelični liv 749
— — prešanje plastičnih masa 858
— — savijanje, dimenzije 691
— — tlačno lijevanje 754
kalupljenje 730
— obojenih metala 752
— plastičnih masa 853
kalupni materijali 726
kalupnici 729
kamen 362
kamen, obrada 366
— prirodni, svojstva 366
— vrste 363
kamenina 373
kamenje sedimentno 364
— ukrasno 367
— umjetno 367
kanali za srh u ukovnju 657
kaolin 364
kapacitet 1051
— radionica za održavanje 1114
kapilaritet 982
karakteristične količine (42) 1043
— veličine 1058
karbamidna smola (13) 335
karbidi za navarivanje 312
karborundum 471
karta kontrole 907
kartoteka 908
— materijala 1057
karusel-tokarilice 555
kaširanje 864
katalitička redukcija 842
katodna zaštita 847
katran 408
kaučuk 390
— prirodni 390
— proizvodi 392
— sirovi 390
— umjetni 393
kazeinsko ljepilo 360
kemijski sedimenti (14) 365
kemijsko-toplinska obrada 109
keramički proizvodi 373
kinematski dijagram prijenosnika 518
— odnosi ozubljenja 616
kiselost (aciditet) (3) 1020
kisik 781
kitanje odljevaka 765
kitovi 410
K-krivulja (42) 1056
klase instrumenata 970
klasifikacija tehničkog željeza 176
klica (11) 18
klinaste stege 940
Klingelnberg 628
klinker (prepeka) 375
klizne vodilice 525
klizni materijali 309
ključna ploča tokarilice 550
klonulost 56
klupe provlačilice 699
kobalt, dodatak čeliku 87
kočnice (3) 1001
koeficijent dodatnog vremena 1064
— prolaza (42) 1055
kolagen (14) 359
količina plina (3) 1014
— tekućine (3) 1014
količinsko određivanje faza 72
koljenaste preše 666
komadno vrijeme 900
kombinirani oslonci 938
kombinirano gnječenje (11) 91
komercijalno poslovanje 1038
komorna peć 670
kompaktnost nanosa, ispitivanje 302
kompleksni dio (27) 909
konačne mjerke 990
konične površine, brušenje 604
konkavne plohe, obrada 601
konstruiranje naprava 928
konstrukcija alata 1049
konstrukcijska sistematika 933
konstruktivni čelici, grupacija 181
— — tipizacija 178
— visokovrijedni čelici 114
kontakti, materijali 310
kontinuirana pruga valjanja 715
kontrakcija, ispitivanje 271
kontrola (27) (41) 901
— zavarivanja 817
konus, tokarenje 552
konveksne plohe, obrada 601
konverteri, taljenje čelika 749
konzolne glodalice, v. horizontalne glodalice 590
koordinatne bušilice 579
kopiranje 537
kopirna glodalica 594
kopirne tokarilice 553
kopirni uređaj 537
korozija 836
— elektrolitička 836
— kemijska 836
— metala 40

korozija opća, lokalna, točkasta, interkristalna 837
— vrste 836
korozivna svojstva 837
korozivne pojave 837
kositar 150
kotiranje naprava 946
kotlovi (HTZ) 1130
kotlovski čelici 185
— limovi 115
kovačka ispitivanja 295
— proizvodnja 651
kovački strojevi 660
kovačko-hidrauličke preše 665
— peći 669
— — podaci 673
— — pregled i namjena 673
kovanje 651
— u ukovnjima 653
kovinski filtri 309
kovkasti liv 78, 174
— — taljenje 746
koža 389
— anatomija 389
— završna obrada 389
kratice za označivanje plastičnih masa 322
kratkohodne blanjalice 564
kratkoročno planiranje 1116
kretanje alata i materijala 423
krevet alatnih strojeva 528
krhki metali, ispitivanje 274
kristal 10
kristalit 18
kristalizacija 10
kristalna rešetka 10
kritička brzina hlađenja 99
— — kaljenja 106
krivulja naprezanja 45
kromatiranje 844
krom, dodatak čeliku 87
kromiranje 112
kronična trovanja 1148
krovna ljepenka 409
kruta smjesa (11) 16
krutište 17
krutost 891
— strojeva 508
kružne pile 613
kružno savijanje 683
— savijanje cijevi 685
— — profila 685
krvarenje 1141
kubna rešetka 11
kućišta alatnih strojeva 528
kuglaste površine, obrada 600
kupolne peći 742
— — tehnički podaci 743
kut konusa pri vučenju 681
— nadvišenja λ 420
— namještanja ϰ 420
kut oštrenja β 419
kut rezanja ϑ 419
kutne deformacije pri zavarivanju 779
kutnik (valjanje) 720
kutovi alata 418
— — za glodanje 457
— kružne pile 478
— od kosog stezanja ρ 420
— rezanja glodala 457
— — tokarskih alata 429
kvadratna gredica 718
kvadratni profil (valjanje) 720
kvaliteta obrade alatnim strojevima 417
kvatra-sistem valjaka valjaonica 716
kvaziizotropija 14

L

laki metali 140
— — taljenje i lijevanje 752
lakiranje plastičnih masa 873
lakovi 398
— primjena 403
— vrste 402
lamelne spojke alatnih strojeva 531
lamenarna struktura 101
lanac dimenzija 916
lansiranje radne dokumentacije 1118
latentna toplina 18
ledeburit 71
legirani alatni čelici za rad u hladnom 205
legiranje čelika 89
legura 22
lem 827
lemljenje 826
— Al-slitina 145
lemovi 139
lepanje 488
— ravno 491
— strojevi 634
— unutrašnje kružno 490
— vanjsko kružno 490
— zupčanika 632
lesonit-ploče 358
ležaji od sintrovanih materijala 309
ležajne slitine 152
ležaj radnih vretena 509
ligneston (14) 358
lijepljenje Al-slitina 145
— plastičnih masa 876
lijevanje 726
likvidus 22
limovi (valjanje) 719
— i trake od Al-slitina 223
lineta 553
lineta brusilice 607
list za proučavanje (43) 1094
litij 155
livljivost Al-slitina 144
ljepenka, težine 396
ljepila 359
— trgovačka imena 362
— za plastične mase 876
ljepilo albuminsko 360
— kazeinsko 360
— škrobno 360
ljevačke Al-bronce 129
— bronce 127
— mjedi 132
ljevački pijesak 726
— — ispitivanje 726
— — priprema 727
ljuska (11) 10
ljuštenje 476
— navoja, stroj 637
lomljivost 50
lomna čvrstoća, ispitivanje lomljevine sivog liva 739
lučne pile 614
luminiscencija, ispitivanje materijala 299
luminiscenti 300
L-v dijagram svrdla 452

M

Maag 617
Maag-brusila zupčanika 630
magneti, sintrovani materijali 310
magnetoplan (44) 1115
magnetska ispitivanja 299
— svojstva metala 60
magnetski čelici 112
— limovi 175
magnezij 145
majstorski zupčanik 632
makronapetosti 95
makroskopska ispitivanja 296
maksimalna apsolutna greška (3) 969
— relativna greška (3) 970
mali popravak (44) 1110
mangan, primjesa željeza 83
— utjecaj na SL 740
manometar 979
— s valovitom membranom 983
— — — komorom 984
— zvonasti 981
manometri, klase 983
— s Bourdonovom cijevi 982
Martens-Kennedyjev aparat 273
Martensov aparat, ispitivanje 273
martenzit 99, 102
materijal (41) (42) 1037, 1043
— izratka 933
materijal trupca za ekstruziju 710
— za izradu naprava 948
— — modele 734
— — zavarivanje aluminija 816
materijalno opskrbljivanje (41) 1036
matrica 674
— i žig za utiskivanje, materijal 704
matrice, vijek trajanja 698
— višedijelne 698
— za isprešavanje 711
— — prevlačenje 698
mehanička svojstva (11) 29
mehaničke metode ispitivanja maziva 1030
meki lem (11) (24) 151
melafir (14) 364
melaminska smola (13) 335
metali 2
metalizacija odljeva 764
matalizacija prskanjem 841
metaliziranje plastičnih masa 873
metalografija 9
metalografski prikaz čelika 120
metalografsko djelovanje dodataka 84
metastabilna ravnoteža 63
metastabilno stanje 21
metode snimanja vremena 1074
— trenutačnih zapažanja 1082
MIG postupak, zaštitni plinovi 797
— — zavarivanja 797
— — — aluminija 815
mikromanometar 980
mikrometri 986
mikronapetosti 95
mineral (14) 362
mineralna vlakna 398
minimetar 981
mišići (45) 1124
Mitrofanov 910
mjed 131
mjedeni lem 828

mjenjačko područje brzina 514
mjerenja električna 1017
mjerenja u tehnici 967
mjerenje akceleracije 1000
— broja okreta 996
— brzina 996
— dužina 985
— greške 969
— jakosti struje 1017
— količina 1013
— napona 1017
— otpora 1018
— paralelnosti 989
— pH-vrijednosti 1020
— površina 994
— protoka 1015
— provrta 990
— rada 1001
— razine 1011
— sila 975
— snage 1001
— temperature 1003
— tlaka 978
— vodljivosti 1016
— zakretnog momenta 1001
mjerke (27) 900
mjerna naprava, primjer 962
— prigušnica 999
— ura 989
mjerne elektrode 1021
— tekućine 982
mjerne trake 977
mjerni instrumenti 967
mješanci 16
— uključinski 16
mješovito trenje 49
mlaznica za plastične mase 853
modelne ploče 731
modificiran 25
modul elasticiteta 271
— elastičnosti 52
molekula 9
molibden 87
moment savijanja na valjku 685
monografska metoda (HTZ) 1126
montažna baza 915
montažna jedinica 912
mortovi 381
mramor 365
MTM METODA (43) 1081

N

nabori pri vučenju 677
način rada, određivanje 1044
nadeutektično područje 69
nadzorni organ (41) 1036
nadžarivanje 105
nagibi otkovaka 659
nagodba (41) 1036
nanošenje plastične mase na podlogu 864
napetosti pri zavarivanju 777
— prikrivene 97
— u čeliku 95
naprava 900
— baza 925
— konstruiranje 928
— konstrukcijski elementi 936
— kotiranje 946
— materijal 948
— oblikovanje 927
— proračun stezanja 949
— svrha 925
naprava za bušenje 931
— — kružnu obradu 929
— — uzdužnu obradu 929
naprezanja u metalima 30
naprezanje σ 272
narudžba 1058
nastavci radnih vretena 508
navoj, izrada na bušilici 482
— — — tokarilici 480
navoj, utiskivanje 707
navojno svrdlo 482
— vreteno tokarilice 550
nemagnetizirani čelici 113
nemetali 347
neobrađeno drvo 357
nerđajući čelici 216
— — ekvivalent 214
nestabilno stanje 21
neumirena struktura 86
neutralizacijski (kiselinski) broj 1029
neutron 9
neželjezni metali 112
nikal, dodatak čeliku 86
Niles 631
niob 157
nitrat celuloze (13) 343
nitriranje 111
nitroglicerin 411
nodularni liv 77
norma, definicija 1063
— izvršenje i realnost 1085
norma, svrha i značenje 1063
normaliziranje 104
normativ materijala 1048
— vremena 1048
Nortonov prijenosnik 513
nosači Peiner 243
nosači (valjanje) 720
nosači Zores
novo srebro 138
nož desni, lijevi 428
numeričko upravljanje alatnim strojevima 545

O

oblaganje (25) 844
— žice plastičnom masom 862
oblici sirovih plastičnih masa 324
oblik prekida, ispitivanje 277
oblikovanje ekspandirajućeg poliestera 883
— naprava 927
— na toplo 864
— plastičnih masa izvlačenjem 866
— plastičnih masa prešanjem u kalupu 868
— — savijanjem 865
obodne brzine brusnih ploča 762
obojeni metali 122
obojeni metali, liv 750
obrada čelnika blanjanjem 617
— dodatak 895
— mlazom 840
— plamenom 840
— plastičnih masa skidanjem strugotine 871
— redoslijed 904
— sile 981
— skidanjem strugotine 416
— zajedničko djelovanje faktora 893
obradivost bronce 130
— rezanjem 58
obrađena površina 424
obrađeno drvo 357
očvršćenje materijala plastičnom obradom 648
— — provlačenjem 695
očvršćivanje Al-slitina 143
— čelika 39
odljevci, popravljanje 764
određivanje tolerancija 917
— — selektivnom metodom 919
odrez, ispitivanje 277
odvajanje priljevaka 760
odvalni postupak ozubljenja 615
odvalno gledanje, strojevi 621
održavanje 1104
— organizacija 1104
Oerlikon 624
Oerlikon Spiromatick 629
oguljotina 1141
okrugli profili (valjanje) 719
oksidacija maziva 1030
oksidirajući plamen 780
oktoidni stožni zupčanici 624
olovna bronca 155
olovo 149
omekšivači 400
— plastičnih masa 323
opći poslovi (41) 1036
opeke 368, 374
opekotina 1144
opekotine strujom 1147
operacija 899
— dijeljenje 903
— koncentracija 903
— redoslijed 1044
operacijski list 905, 1048
operativna priprema 1050
operativni plan 1037
opis izvođenja rada 1090
oplemenjivanje čeličnog liva 750
oprema za snimanje kronometrom 1069
opruge, čelici 198
organizacija 1035
— hitne pomoći 1150
— poduzeća 1032
orto-eutektoid 100
oslanjanje izratka 927
oslonci 934
osnovni plan 1050
oštrica alata 418
otapala 400
otpor sabijanja 46
— savijanja 46
— trenja 48
otpornost metala 43
— polikristala 44
— rastezanja 43
— torziji 47
otrovanje plinovima 1148
otvorena pruga valjanja 715
otvrdnuće materijala provlačenjem 695
otvrđivač plastičnih masa 323
OXYARC 821
označivanje tvrdih metala 311
ozubljenje čeonih zupčanika 486
— postupak 615
— utiskivanjem 707
ozubljivanje 580

P

panel-ploče 358
papir 393
— formati 395
— ispitivanje 394
— težina 396
— vrste 393
paraeutektoid 100
Paretove hipoteze (42) 1057
parni bat 663
pečatanje 707
pečena opeka 374
peći za grijanje trupaca 714
— — taljenje obojenih metala 750
— — — sivog liva 741
— — žarenje kovkastog liva 747
Peiner-nosači 243
penetracija 780
periodički sistem elemenata 58
perlit 71
— zrnasti 103
peritektička koncentracija 28
perni bat 661
perspektivni plan 1050
pigment (14) 399
piknometri 974
pilasti dijagram 515
pile 613
piljenje 477
piljenje kružno 477
— pravocrtno 477
piljeno drvo 358
pirometar električno otporni 1007
PIV prijenosnik 522
Pito-Prandtlova cijev 999
pješčari (14) 365
plamene peći 741
— — karakteristike 741
— — za obojene metale 750
plamenici za zavarivanje 783
plameno štrcanje plastmasa 869
plamište maziva 1026
plan poduzeća 908
— proizvodnje 933
planimetar 995
planiranje 1037
— dnevno 1116
— dugoročno 1114
— proizvodnje 1050
— tjedno 1116
planska glodalica 592
planska ploča 534
— raspodjela 1057
planske tokarilice 554
planski popravci strojeva 1110
— zupčanik za obradu stožnika 624
plastična deformacija 40, 91
— obrada 646
— — formule deformacija 650
plastične mase 316
— — dobivanje 318
— — dodaci 323
— — dotjerivanje površina 871
— — identifikacija 324
— — iz celuloze 321
— — izrada folija 863
— — kaučuk-elastične 320
— — kemijska otpornost 326—345
— — kratice za označivanje 322
— — makromolekula i monomer 326—345
— — nanošenje na podlogu 864
— — omekšivači 323
plastične mase, plastifikatori 323
— — podjela 320
— — polusintetske 321
— — primjena 317
— — puhani proizvodi 862
— — sirovine 326—345
— — spajanje dijelova vijcima 874
— — svojstva 317
— — tehnički podaci 326—345
— — test gorenja 325
— — trgovačka imena 326—345
— — zavarivanje 876
plastično oblikovanje, teorija 646
plastično tečenje 646
plastičnost 52
plastificiranje 852
plastifikator 852
plastifikatori plastičnih masa 323
platina (valjanje) 718
platiranje 841
plazma-rezanje 823
plemeniti čelici 114, 184
plinovi pri rezanju 819
plinsko zavarivanje 780
— — aluminija 814
— rezanje kisikom 818
— žlijebljenje 825
ploče iz plastičnih masa 864
plosnata gredica 718
pluto 407
pneumatski mjerači 993
poboljšavanje 108
pocinčavanje 149
podaci režima rada 907
podešljivi oslonci 938
podeutektičko područje 68
podeutektoid 68
podeutektoidno područje 69
podmazivanje alatnih strojeva 532
— strojeva 1106
područja automatizacije alatnih strojeva 546
podsklop 913
poduzeće 1032
pogon alatnih strojeva 524
pogonski strojevi (HTZ) 1129
pojednostavnjenje rada 1086
polarizacija 837
poliadicija (13) 319
poliadukti 319
poliamid 337
poliesterske smole 336
— — prerada 883
polietilen 326
polifluorcarbone 332
poliizobutilen 328
polikondenzacija 319
polikondenzati 319
polimerizacija 318
polimerizati 319
polimetakrilat 333
polimorfija 15
polipropilen 327
poliranje 494
— plastičnih masa 871
polirke 633
polisiloksani 338
polistiren 329
polistirol 329
poli-tetra-fluor-etilen 332
poliuretani 339
polivinil-klorid 330
poluautomat 539
poluautomatsko zavarivanje pod zaštitom CO_2 799
polukontinuirana pruga valjanja 715
poluumireni čelik 86
pomagala tehnologa 907
— u tehnološkim procesima 900
pomična mjerila 985
pomoć radniku koji je ranjen 1141
pomoćna baza 915
pomoćno vrijeme 1045
popratna karta 1060
popravljanje odljevaka 764
popuštanje 107
porculan 374
porfir 364
porozni materijali 309
portland-cement 378
posmični prigon glodalica 584
posmično kretanje 423
— vreteno tokarilice 548
posmik pri glodanju 459
— — kružnom brušenju 474
— — upuštanju 455
— svrdla 453
— tokarilica 550
posredno dijeljenje 595
postojanost tokarskog alata 434
postolja alatnih strojeva 528
postrojenja poduzeća 1036
postupci strojne obrade 416
— zavarivanja 780
potiskivanje plastičnih masa 852
potisne peći 670
potlak 978
potrošak elektroda 789
potrošnja kisika i acetilena, rezanje 819
— — — — zavarivanje 783
— pri plinskom zavarivanju aluminija 814
povratno snimanje 1074
povrede električnom strujom 1146
— kiselinama 1145
— klasifikacija 1140
— lužinama 1146
— mehaničke 1140
— oka 1149
— šake 1149
— termičke 1144
— trbuha 1149
površina, ispitivanje nagrizanjem 302
— — uljnom kapljicom 302
— metala, ispitivanje 300
površinska zaštita 835
površinsko bojenje plastičnih masa 873
— valjanje 706
pranje strojnih dijelova 921
prapor 364
pravokutni profil (valjanje) 720
praznine 20
precizni liv 753
predekspandiranje polistirena 882
predgrijavanje granulata plastičnih masa 851
— plastičnih masa za prešanje 858
prednja površina alata 418
prednji kut γ 419
predobrada 839
predsavijanje 684
pregled alata 906
— stroja, preventivan 1108
pregrijavanje bakra 125
prekidna čvrstoća, ispitivanje 270
prekidno produženje, ispitivanje 270

premazi 844
— za čelik 404
preračunavanje °C—°F 1003
prerada plastičnih masa 849
— poliesterske smole kalupom 887
— — — vakuumom 886
preša, proračun veličine 668
prešanje plastičnih masa 857
— — načini 858
— — vrijeme 859
— praha 306
preše 665
— za slobodno kovanje 665
prešni alati 306
pretlak 978
prevlaka 839
— debljina 841
— organska 844
— metala plastičnim masama 869
— nemetalna 842
pribor stroja 900
prigon 524
— radnog stola glodalice 584
— vretena glodalice 583
— za rotiranje 605
prihvat glodala 586
— izratka glodalice 586
prihvatni elementi alatnih strojeva 534
prijelaz topline 62
prijelom 275
prijelomni progib, ispitivanje 276
prijenosnik alatnih strojeva 513
— električni 524
— hidraulički 523
— posmični 513
— za pravocrtno kretanje 524
prikrivene napetosti 97
prikupljanje činjenica (43) 1090
primarna kristalizacija 62
primarni kristali 18
primjena plastičnih masa 317
primjese željeza 82
principi poboljšanja rada 1100
— projektiranja tehnološkog procesa 903
priprema alata 1049
— dijelova za sastavljanje 920
— ljevačkog pijeska 727
— materijala 1056
— na radnom mjestu 1070
— plastičnih masa za prešanje 858
— rada 1041
— — održavanja 1104
— spojeva za zavarivanje 780
— — — — — Al, Ni, Fe 782
pripremno-završno vrijeme 900, 1045
prislonci 938
privredni račun 1033
privrednoračunsko poslovanje 1036
probijač 464
probijanje 653
proces sastavljanja 914
procjena zalaganja 1069
prodaja 1036
prodajna cijena proizvođača 1033
produkcijsko brušenje 603
produženje, ispitivanje 270
profili, kalibriranje 691
— proizvodnja valjanjem 686
— valjanje 719
profilno savijanje 686
profesionalna oštećenja 1123
profesionalne bolesti 1147
prognječivost materijala 710
programator 544
programiranje kod glodalica 591
programsko upravljanje alatnim strojevima 542
progresivni troškovi 932
proizvodna staza-transfer staza 641
proizvodnja (41) 1037
— profila valjanjem 686
— protočna 903
— tipovi 903
proizvodni proces 901
— troškovi 932
proizvodnost 1034
projektiranje tehnoloških procesa 889
— zaštite pri radu 1126
prokaljivost 106
— čelika, ispitivanje 295
prokura 1035
promjer rondele 677
Pronyjeva kočnica 1001
proporcionalni troškovi 932
proračun stezanja kod naprava 949
— zasipa (23) 740
prostorna rešetka 9
proširivač 448
protektorska zaštita 847
protočna proizvodnja 903
protočno snimanje 1074
proton 9
protuudarni bat 662
proučavanje rada 1094
provedba poboljšanog načina rada 1101
— snimanja 1084
provlačilice 601, 699
provlačenje, namjena 692
— programiranje 696
— šipkastog materijala 692
— šupljih profila 693
provlakači 464
provođenje sigurnosnih mjera pri radu 1136
prožarivanje 105
prskanje 841
— poliesterske smole 885
prva pomoć 1140
psihofiziologija 1124
pucolan-cement 380
puhani proizvodi iz plastičnih masa 862
pukotina hladna i topla 96
pulzatori, ispitivanje 292
pulzirajuća čvrstoća 43
pulzirajuće naprezanje 32
punila plastičnih masa 323
puzavost 53
pužno kolo, obrada 623

R

racionalizacija 1083
— pokreta 1100
radijalne bušilice 576
radna dokumentacija 1059
radna snaga (41) 1036
— vretena 507
radne jedinke 640
radnički savjet 1035
radni dokumenti 1118
— list 1059
radni nalog 1059
radno mjesto 899
— — određivanje 1044
— vreteno tokarilice 547
rana 1140
— gnječna 1141
rashladna sredstva pri brušenju 608
rashlađivanje alatnih strojeva 533
raskivanje 651
rastežljivost željeza 80
ravnanje čela 595
ravnoteža pri skrućivanju 21
razderotine 1141
raznokračni kutni nosači 237
razrjeđivači 400
razvijači acetilena 781
razvoj poduzeća 1036
razvrtač 449
razvrtavanje 447
realnost normi 1085
redoslijed događaja 1090
— montaže 1049
— obrade 904
— operacija 906
reducirajući plamen 780
redukcijski ventil razvijača 781
Reishauer 632
rekristalizacija čelika 92
remanencija 113
rentabilnost 1034
— automatizacije 961
— mehanizacije 961
repeticijsko programsko upravljanje 544
rešetka 9
— heksagonska 14
— kristalna 10
— kubna 11
rešetke, nepravilnost 20
— slitina 16
Revecyele 625
reverzibilni sistem 716
revolverske tokarilice 556
rezanje 477
— čelika, utjecaj elemenata 818
— kisikom uz upotrebu praška 820
— metala 818
— pod vodom 820
rezervni dijelovi 1111
rezna skica 1049
režim rada (27) (42) 900, 1044
režimi obrade plastičnih masa 872
rijetki metali 155
rokovi, određivanje 1055
roman-cement 379
rondela 677
Röntgen, ispitivanja 297
ručice za stezanje 941
ručna obrada 495
— stezala 940
ručno elektrolučno zavarivanje 748
rudarski eksploziv 411
dukovođenje 1035

S

sabijanje 651
sadržaj pepela 1030
sanacija 1036
saponifikacija 1030
sastavljanje 1043
— proizvoda 911
— proces 914
sastavljanje, redoslijed 914
— shema 912
savijalica 684
savijanje 653
— elastično vraćanje krakova 687
— ispitivanje 276
— U-profila 690
— V-profila 689
Schlesingerov dijagram 518
Segerovi čunjevi 371
sekundarna eutektična područja 27
— kristalizacija 66
selsin 544
sferoidizacija 105
sferolitina 77
shema montaže 1049
Siemens-Martinove peći 748
sigurnosni elementi alatnih strojeva 529
sigurnosno staklo 387
sijenit 363
sikativi 400
sila hidrauličkog stezanja 955
— isprešavanja 711
— na svrdlu pri bušenju 449
— natražna 423
— posmika 423
— rezanja 423
— — glavna 423
— — pri tokarenju 438
— pri grebanju 466
— — obradi 891
— — savijanju 685
— stezanja 940
sile rezanja navojnim svrdlom 483
— — pri blanjanju 445
— — — brušenju 475
— — — bušenju 449
— — — glodanju 460
— — — piljenju 480
— savijanja 689
— stezanja pri ekscentru 951
— — — klinovima 950
— — — plastičnim masama 956
— — — steznim polugama 953
— — — vijcima 950
— zračnog stezanja 954
silicij, primjesa željeza 82
— utjecaj na SL 740
siliciranje 112
silikegel 846
silikoni 338
siliranje 843
silumin 145
simo-snimak rada čovjeka 1094
Simpsonovo pravilo 995
sinterovana nuklearna goriva 314
— kovina s visokim talištem 307
— tijela za hlađenje i grijanje 309
sintrovani dijelovi od aluminija 308
— — — magnezija 308
— — — mjedi 308
— klizni materijali 309
— konstrukcijski materijali 314
— materijali, primjena 307
— — za kontakte 310
— porozni materijali 309
— strojni dijelovi 208
— tarni materijali 309
sintrovanje 306
— plastičnih masa u vrtlogu 868
sipari (14) 364
sirovac 654
sirovina za ekstrudiranje plastičnih masa 860
sirovine za plastične mase 318
sirovo željezo 75
sistematski faktor 894
sistemi unaprijed utvrđenih vremena 1081
— valjanja 716
sistem slijevanja Fe-C 62
— ugradbenih sklopova 591
sivi liv 77
sivo sirovo željezo 76
skice alata 676
skladištenje 901
sklop 913
skrućivanje metala 17
skupljanje (stezanje) liva 734
— plastičnih masa 856
slab (valjanje) 718
slika radnog dana 1082
slitina 22
slitine aluminija, taljenje i lijevanje 752
— bakra 125
— cinka 148
— magnezija 145
— — taljenje i lijevanje 752
— olova 149
— titana 146
slobodna površina alata 418
slobodni kut α 419
slobodno kovanje 651
slučajni obilasci 1082
smik, ispitivanje 277
Smithov dijagram 34
smjernice za konstrukciju naprava 933
smrzotina 1144
snaga pri blanjanju 446
— — brušenju 476
— — bušenju 450
— — glodanju 462
— — tokarenju 440
snimački list 1094
snimak rada čovjek-stroj 1094
— — skupine ljudi 1094
snimanje gubitaka u radu 1082
— kronometrom 1069
— kvarova 1105
— radnog mjesta 1094
— s procjenom zalaganja 1072
solidus 22
sorbit 71
spajanje 769
— dijelova iz plastičnih masa 874
specifična sila pri grebanju 466
— težina maziva 1024
— — metala 972
— — mjerenje 971
specifična težina nemetala 972
— — plinova i para 974
— — tekućina 973
— sile za blanjanje 446
specifični pritisak brizganja 852
— — pri prešanju plastmasa 859
specijalizirani alatni stroj 637
specijalna obrada 499
— pomagala 908
specijalne mjedi 134
specijalni alatni strojevi 637
— čelici 112
specijalno sirovo željezo 739
spiralni ekscentri 942
spiralno svrdlo 447
spiromatic-glodalice 629
spojevi dijelova 915
spojke alatnih strojeva 529
spojne površine 915
sposobnost lijevanja, ispitivanje 415
srebreni lem 140, 829
srednji popravak 1110
sredstva poduzeća 1032
— povreda 1140
— za brušenje 404, 470
— — podmazivanje plastičnih masa 324
srh 657
stabilizacija 107
— radnog mjesta 1069
stabilizatori plastičnih masa 323
stabilizirani čelici 117
stabilna ravnoteža 62
stabilno stanje 21
staklena vuna 397
stakleno tkanje 884
— uže 884
staklo 386
— bojenje 388
— dobivanje 388
staklo, vrste 386
standardi o metalima, pregled 161
standardizacija alatnih čelika 159
— metala 158
— rada 1101
standardni brojevi okreta 516
— elementi naprava 943
stanja površine 41
starenje 840
— čelika 86
statistička metoda uzorka oštećenja 1126
statistički list trajanja dijelova 1109
statut poduzeća 1035
steliti 118
stepenasta remenica 513
stezna poluga 943
stezne čahure 536
— čeljusti 534
— krivulje 941
— naprave 925
stezni spoj dijelova iz plastičnih masa 875
stijena (14) 362
stimulacija 1086
stinište 1029
stojište 25
stolne bušilice 570
stolovi alatnih strojeva 528
stožnici sa zakrivljenim zubima 627
stožni zupčanici, strojevi 624
stroboskopska metoda mjerenja 998
strojevi za čišćenje čeličnom sačmom 760
— — obradu drva 1130
— — honanje 635
— — lepanje 634
— — ljuštenje navoja 637
— — obradu metala (HTZ) 1132
— — ozubljavanje 615
— — prešanje plastičnih masa 859
— — provlačenje 699
strojna karta 1112
strojna obrada Al-slitina 144
strojne turpije 615
strugotina, debljina pri glodanju 459
— faze nastajanja 421
— formiranje pri tokarenju 432
— lomljena 422
— nasječena 422

strugotina, oblik 421
— — pri brušenju 475
— presjek pri razvrtavanju 455
— — — upuštanju 454
— stvaranje 58
— tekuća 422
— zapremnina pri bušenju 451
strujni udar 1146
struktura 9
— Al-slitina 141
— drveta 349
— mozaična 21
— nehomogenost 54
studij i analiza vremena 1063
— rada 1063
stupanj automatizacije 541
— deformacije 647
— zasićenosti 740
stupne bušilice 571
stupnjevanje broja okreta 516
— vučenja 675
subnormalizacija 104
suho trenje 48
sumpor, primjesa željeza 83
— utjecaj na SL 740
Sunderland 617
superfiniš 493
suport 550
suptrakcioni postupak dijeljenja 596
sušare 733
sušenje granulata plastičnih masa 851
— kalupa 732
— pojave 734
— proces 732
— temperature i trajanje 732
svojstva Al-slitina 222
— centrifugalno lijevanih materijala 757
— plastičnih masa 317
— praha 305
— slitina 17
svrdla specijalna 448
Sykes 620

Š

šantiranje 1017
šavne cijevi, proizvodnja 723
šavno zavarivanje 809
šeping 564
šerardiziranje 841
šesterokutni profil (valjanje) 720
škare 519
škart 895
školjkasti liv 752
šljunak 364
šoping-postupak 841
šper-ploče 358
štampanje plastičnih masa 873

T

tabletiranje plastičnih masa 858
tahometri 997
taljenje kovkastog liva 746
talište 1028
tarni materijali 309
tehničko željezo 74
— zavarivanje 783
tehnološka dokumentacija 904
— ispitivanja 293
— karta sastava 1088
— priprema 1042
tehnološki proces 901
tehnološko vrijeme 1045
tekstilna vlakna 397
tekuće trenje 49
temeljne ploče alatnih strojeva 529
temperature obrade 893
— prešanja plastičnih masa 859
temper-čelik 78
— liv 745
teorija plastičnog oblikovanja 646
— stvaranja strugotina 420
terakota (14) 375
termička obrada pri valjanju 714
terminiranje 1053
— radova u održavanju 1115
terminska karta 1060
terminski plan 1050
termoelementi 1009
termokemijska obrada 109
— plinski 1006
— vrste 1006
termooblikovanje plastičnih masa 864
termoplasti (13) (26) 321
termosiliciranje 841
termostabilne plastične mase 858
test gorenja plastičnih masa 325
testiranje metala 268
teški obojeni metali, taljenje i lijevanje 751
težina kalkulativna 897
— konstruktivna 897
— sirova 897
— sirovca 657
težine limova 233
— punih profila 234
— traka i žica 232
tiganjske peći 750
TIG-postupak zavarivanja 794
— — — aluminija 815
tip dijelova 908
tipični proces 910
tipizacija 908
tipizirani alatni čelici 180
— konstruktivni čelici 178
tipovi proizvodnje 903
titan 146
— dodatak čeliku 88
titrajna čvrstoća 33
tjestenasto stanje 94
tlačna naprezanja, ispitivanje 274
tlačni liv 754
— — primjena 755
— prsten pri vučenju 674
tlak apsolutni 978
— čisti, ispitivanje 274
— dinamički 978
— statički 978
T-nosači 246
točka kapanja 1029
— tečenja 1029
točkasto zavarivanje 807
točnost alata 892
— alatnog stroja 892
— dijelova 894
— diobenih uređaja 601
— izratka 893
— serije izradaka 894
točnost stezanja 892
tokarenje 427
tokarilice 547
— automati 559
— karusel 555
tokarilice kopirne 553
— planske 554
tokarilice revolverske 556
— teške 562
— univerzalne 547
— urarske 547
— veličina 552
— za natražno tokarenje 562
— za obradu ingota 563
tolerancije modela 738
toplinska obrada čelika 97
— svojstva metala 61
— vodljivost 61
toplinsko rastezanje 61
toplo gnječenje 94
— — Al-slitina 144
toplotni impuls kod zavarenih plastičnih masa 871
— udar 1145
topografska metoda (HTZ) 1126
torzator, ispitivanje 292
totalni tlak 978
tračne pile 614
trahit (14) 363
trajna čvrstoća 33
— — ispitivanja 290
trajnost alata za blanjanje 444
— brusnih ploča 476
— glodača 460
— svrdla 451
— tokarskih alata 438
trake iz plastičnih masa 864
traktriks-krivulja 681
transfer-staze 638
transkristaliničan 20
translatorno gnječenje 91
transmisija (HTZ) 1129
transport 901
transportni uređaji (HTZ) 1135
trenje pri utiskivanju 706
trio sistem valjaka valjaonica 716
troostit 71, 103
troškovi poslovanja 1033
— proizvodnje 932
trn 536
tržište 1051
TTT-dijagram 98
turpijanje 495
turpije, strojne 615
tutkalo 359
tvrdi lem 139
tvrdi liv 78
— metali (11) (12) 118, 310
— — srašteni 197
tvrdoća 57
tvrdoća : čvrstoća, odnos 287
— ispitivanje 278
— po Brinellu, ispitivanje 278
— — Rockwellu, ispitivanje 280
— — Vickersu, ispitivanje 280
— trake, stupnjevi 719
— usporedne vrijednosti 287
— željeza 79
tvrdo kromiranje 844

U

U-cijevi 974
udarno opterećenje 31
uganuće 1143
ugljični konstruktivni čelici 183
ugljikovodici 320
ugljik, utjecaj na SL 739
ugradbene jedinice strojeva 638
ukovanj, gabaritne mjere 658
— materijali 659
ukovanj, predgrijavanje 660
— tvrdoća 660
ukupni prihod 1033
ukupno vrijeme 1045
ultrazvučna brusilica 500
ultrazvuk, ispitivanja 298
— za zavarivanje plastičnih masa 882
umaralice, ispitivanje 290
umirena struktura 86
umjetna koža 390
— vlakna 321
umjetne tvari 316
umjetni materijali 315
umjetno starenje 107
umor 1124
unapređivanje poduzeća 1036
univerzalna glava 591
— konzolna glodalica 591
— sredstva 1045
univerzalne brusilice 609
— glodalice 591
U-nosači 240
unutarnje brušenje 606
UP-postupak zavarivanja 791
upravljačke krivulje tokarilica 559
upravljanje 1035
upravni odbor 1035
upuštač 448
upuštanje 447
upute za konstrukciju naprava 928
uređaji za dijeljenje 595
uskladištenje alata 1050
uspon zavojnice svrdla 448
utiskivanje plastičnih masa 874
utjecaj elemenata na sposobnost rezanja 818
— — — svojstva liva 739
utjecaji na stezne naprave 932
utjecaj primjesa 82
— ugljika na željezo 79
utrošak energije električnih peći 744
— — za pripremu pijeska 728
— — — žarenje čeličnih odljeva 750
— goriva u SM-pećima 748
— novog pijeska po 1 t odljeva 728
uvježbanost radnika 1070
uzdužna glodalica 593
uzorni proces 907
uzroci nezgoda 1123
— ozljeda 1150

V

vaga 975
— prstenasta 981
vaganje 976
vakuumska tehnika, materijal 310
valjački strojevi 717
valjani proizvodi 718
valjanje 714
valjaonice 715
valjci valjaonica, sistemi 715
vanadij 156
— dodatak čeliku 88
vapno 377
vatrootporni čelici 209
vatrostalni materijali 313, 368
vatrostalnost pijeska 726
veličina zrna pijeska 726
veličine zrna sredstava za poliranje 405
vertikalne glodalice 591
veziva 376
— boja i lakova 399
— ispitivanja 380
— za antikorozivne premaze 401
vezna sredstva za pijesak 729
vezni materijal brusnih ploča 471
vibracijske rešetke za istresanje 758
viječane stege 941
vijek trajanja provlačnih matica 701
vinil-polimerizati 320
viskozitet 1027
visokofrekventno zavarivanje plastičnih masa 871
visokolegirani čelici 116
visokomanganski čelik 86
viševretena bušilica 575
viševreteni automati tokarilice 561
vlačna naprezanja, ispitivanja 268
vodeno hlađenje plastičnih masa 871
vodilice 525
— hidrostatske 527
— klizne 525
— s kotrljanjem 526
volfram 157
— dodatak čeliku 87
Voltmanovo hidrometrijsko krilo 1000
volumen sirovca 657
vrelišta i krutišta tvari 1005
vremenska čvrstoća 33
vretena 507
vretenišna glava glodala 588
vreteništa 512
— brusilice za prihvat izratka 603
— brusne ploče 603
— tokarilica 547
vrijeme izrade (27) (42) 900, 1045
vrijeme otvrdivanja ljepila 833
— planskih popravaka 1112
— za jedinicu — norma 1074
— — nalog 1069
vrste događaja proizvodnje 901
— tvrdih metala 311
vruće uronjavanje 841
vučenje bez stanjenja stijenki 674
vučenje sa stanjenjem stijenki 680
— stunjevanje 675
vulkan-fiber (13) 341
vulkaniziranje kaučuka 391

W

WF metoda 1081
Wheatstoneov most 1018
WIG-postupak zavarivanja 794
Wöhlerova krivulja 33

Z

zabušivanje središnjih uvrta 595
zagrijavanje sirovca, trajanje 672
zahvat 1070
zahvatna naprava 508
zajedničko djelovanje faktora obrade 893
zakivanje dijelova iz plastičnih masa 875
zakošenja 736
zakovice, čelik 188
zakretalica ispitivanje 277
zalaganje normalno 1069
zaliha (42) 1057
zamaranje 1124
zaobljenje otkovaka 659
zapremnina strugotine 451
zasićenost pri livu 739
zasijecanje 653
zasip, proračun 740
— za sivi liv 738
zastoj 901
zaštita 846
— pri radu 1122
— radnog stroja (HTZ) 1130
zaštitne mjere kod raznih strojeva 1134
— prevlake 839
zaštitni plinovi pri MIG-zavarivanju 797
zavarivanje 771
— alatnih čelika 812
— aluminija 813
— aluminijskih slitina 815
— austenitnih krom-nikal-čelika 810
— bakra 815
— bakrenih slitina 817
zavarivanje bronce (23) (24) 767 817
— čeličnog liva 812
— čelika 810
— — za cementiranje 811
— — — poboljšavanje 811
— — — povišene temperature 810
— hladno 771
— izbor struje 795
— kovkastog liva 767
— kutne deformacije 779
— legiranog čeličnog liva 812
— mekog čelika 811
— mjedi 817
— napreskok 778
— nastajanje napetosti 777
— nerđajućih krom čelika 810
— niskolegiranih čelika 810
— odljevaka 765
— plastičnih masa 876
— — toplim plinom 879
— — toplotnim impulsom 881
— — trenjem 880
— — ultrazvukom 882
— — zagrijanim elementima 880
— polutvrdog čelika 811
— postupci 780
— primjena postupka 771
— priprema spojeva 780
— sivog liva 766, 812
— — — na hladno 813
— — — — polutoplo 813
— — — — toplo 812
— slitina aluminija 767
— tehnika 783
— temper-liva 813
— tvrdih manganskih čelika 812
— tvrdog čelika 811
— ugljičnih čelika 811
— visokolegiranih čelika 810
— vrlo mekih ugljičnih čelika 811
— žilavog liva (nodularnog) 813
zavarljivost 773
— Al-slitina 145, 815
— materijala po Fergusonu 808
zavojnica, obrada 598

završna obrada površina, strojevi 633
zgušćivanje praha 306
zračni bat 663
zrnasti lom 50
— perlit 103
zubna letva za obradu blanjanjem 617
zupčanik, brijanje 632
zupčanici, fina obrada, strojevi 630
— lepanje 632
— postupak odvaljivanja 484
— — profiliranja 484
— prethodna obrada 484
— završna obrada 484
zupčanik čeoni, obrada 616
— s kosim zubima, obrada 631
— za obradu blanjanjem 618

Ž

žarenje 103
— čeličnog liva 750
— kovkastog liva 746
— postupci 746
— prekristalizaciono 104
— rekristalizaciono 104
želatina (14) 359
žica, ispitivanje 294
— vučenje 720
žice za zavarivanje 783
žice za zavarivanje MIG 796
žig 674
žilavi liv 77
— materijal 31
žilasti lom 50
žilavost, ispitivanje 289
— metala 50
žlijebljenje 825

Γ

γ-zrake, ispitivanje 297

Σ

σ-ε dijagram 270
σ_R/σ_L 271

Izdavačko poduzeće
»ŠKOLSKA KNJIGA«
Zagreb, Masarykova 28

Za izdavača
LADISLAV IVANČEK

Korektor
BRANIMIR SOKOL

Tisak završen u travnju 1972.